

LA RADIOSCOPIE EN RELIEF

Travail du Service Central d'Electro-radiologie
de l'Hôpital militaire d'Instruction Desgenettes
(Professeur agrégé WILLEMIN)

THÈSE

PRÉSENTÉE

à la FACULTÉ de MÉDECINE et de PHARMACIE de LYON

et soutenue publiquement le 16 Décembre 1941

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

par

André HOSOTTE

né le 28 Avril 1917, à Besançon (Doubs)

Elève à l'Ecole de Service de Santé Militaire



Imprimerie JANODY
23, Cours Henry - LYON
1941

La Radioscopie en Relief

LA RADIOSCOPIE EN RELIEF

Travail du Service Central d'Electro-radiologie
de l'Hôpital militaire d'Instruction Desgenettes
(Professeur agrégé WILLEMIN)

THÈSE

PRÉSENTÉE

à la FACULTÉ de MÉDECINE et de PHARMACIE de LYON

et soutenue publiquement le 16 Décembre 1941

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

par

André HOSOTTE

né le 28 Avril 1917, à Besançon (Doubs)

Elève à l'Ecole de Service de Santé Militaire



Imprimerie JANODY
23, Cours Henry - LYON
1941

PERSONNEL DE LA FACULTÉ

Doyen honoraire	M. L. HUGOUNENQ
Doyen	M. J. LEPINE.
Assesseur	M. A. MOREL.

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. LANNOIS, HUGOUNENQ, PIC, CONDAMIN,
PAVIOT, NICOLAS, VILLARD, NOVE-JOSSERAND, TIXIER, COLLET, GAYET, CLUZET
BERARD, COURMONT, GUIART, PIERY, VORON, CADE, THÉVENOT Léon.

PROFESSEURS

Cliniques médicales	MM. FROMENT.
Cliniques chirurgicales	SAVY.
Clinique obstétricale et Accouchements.....	PATEL.
Clinique ophtalmologique	X...
Cliniques dermatologique et syphiligraphique.....	X.
Clinique neurologique et psychiatrique.....	BONNET
Clinique médicale infantile.....	FAVRE.
Clinique gynécologique	LEPINE (J.)
Clinique d'oto-rhino-laryngologie	MOURIQUAND.
Clinique urologique	COTTE.
Clinique chirurgicale infantile et orthopédie.....	REBATTU
Clinique et prophylaxie de la tuberculose.....	CIBERT.
Clinique des maladies infectieuses	TAVERNIER.
Physique biologique, Radiologie et Physiothérapie.....	DUFOUR.
Chimie biologique et médicale.....	J. CHALIER.
Chimie organique et Toxicologie.....	PONTHUS.
Matière médicale et Botanique.....	FLORENCE.
Parasitologie et Histoire naturelle médicale.....	MOREL.
Anatomie	MANCEAU.
Histologie	GARIN.
Physiologie	LATARJET.
Pathologie interne	POLICARD.
Pathologie générale et thérapeutique.....	HERMANN.
Anatomie pathologique	CORDER.
Chirurgie opératoire	X...
Médecine expérimentale et comparée et Bactériologie.....	J.F. MARTIN
Médecine légale	SANTY
Hygiène	ARLOING (F.).
Pharmacie et Pharmacologie.....	MAZEL
Hydrologie thérapeutique et Climatologie.....	ROCHAIX.
	LEULIER.
	GATÉ.

PROFESSEURS TITULAIRES SANS CHAIRE

Chargé d'un cours d'embryologie.....	NOEL.
--------------------------------------	-------

AGREGES

MM. GABRIELLE CHAMBON REVOL ENSELME SEDALLIAN CREYSSEL DE ROUGEMONT	MM. P. RAVAUULT PIGEAUD CROIZAT DELORE JOSSERAND MORIN BERTRAND	MM. CLAVEL LEVRAT BANSILLON MALLET-GUY ROMAN PEYCELON JOURDAN	MM. FROMENT R. MARTIN P.E. MOUNIER-KUHN BROUSSY PIFFAULT
--	--	--	---

EXAMINATEURS DE LA THÈSE

MM. PONTHUS, *Président* ; GABRIELLE, *assesseurs*

PIFFAULT, BROUSSY

La Faculté de Médecine de Lyon declare que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle n'entend leur donner ni approbation ni improbation.

A LA MEMOIRE DE MON PERE

A MA MERE

Je lui dois tout. Ma vie entière
ne suffirait pas pour la remercier
de tout ce qu'elle a fait pour moi.
Je voudrais l'assurer ici de mon
profond amour et de mon infinie
gratitude.

A LA MEMOIRE DE MON BEAU-FRERE

LE CAPITAINE ANDRÉ REYNAUD

MORT AU CHAMP D'HONNEUR

Saïda (Syrie), 9 juin 1941.

A MON FRERE

A MES SŒURS

A TOUS LES MIENS

A MONSIEUR LE PROFESSEUR PONTIUS

*Professeur de Physique Biologique, de Radiologie
et de Physiothérapie*

Il a bien voulu nous faire l'honneur de présider notre jury de thèse. Nous lui exprimons ici, avec notre profond respect, notre très vive gratitude.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR GABRIELLE

Professeur d'Anatomie

Il nous a fait l'honneur d'accepter de nous juger. Nous l'en remercions vivement.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ PIFFAULT

Qui a bien voulu s'intéresser à ce sujet de thèse. Qu'il en soit ici remercié.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ BROUSSY

Nous le remercions vivement de l'intérêt qu'il a bien voulu manifester pour notre travail.

A MONSIEUR LE MÉDECIN-COMMANDANT WILLEMIN

Professeur Agrégé du Val-de-Grâce

Nous ne saurions oublier la grande part qu'il a prise à l'élaboration de ce travail qu'il nous a inspiré. Nous le prions d'accepter ici l'expression de notre profonde et respectueuse reconnaissance.

A NOTRE CAMARADE LE DOCTEUR E. VIOLETTE

Nous le remercions ici de sa collaboration de tous les instants.

A MES MAITRES

A MES CHEFS

A MES CAMARADES DE PROMOTION

MORTS AU CHAMP D'HONNEUR

AU DOCTEUR CHARLES GOMET

*Professeur d'Anatomie Pathologique
à l'Ecole de Médecine de Besançon*

AVANT-PROPOS

De nombreux essais infructueux ont été tentés en vue de réaliser la radioscopie en relief. Et, jusqu'à présent, il n'existait aucun appareil vraiment pratique permettant la diffusion de la stéréoradioscopie.

C'est seulement en 1939 que le Docteur Bardon, de Montceau-les-Mines, après de patientes et tenaces recherches, arriva à réaliser un appareil d'expérience donnant toute satisfaction. La construction d'un prototype sur ses indications fut décidée à ce moment et réalisée aussitôt par les Etablissements Massiot, en collaboration avec les Etablissement Saint-Chamond-Granat.

Ce prototype fut utilisé à l'extraction des projectiles avec un plein succès à l'ambulance chirurgicale d'armée. n° 233, par notre Maître, le Professeur Willemmin, qui en codifia la technique d'utilisation.

Nous allons décrire cet appareil et en relater les essais, mais auparavant, afin de permettre d'apprécier l'appareillage et les résultats obtenus à leur juste valeur, il importe de connaître au moins sommairement la théorie de la stéréoscopie et les nombreux essais qui ont précédé la très remarquable réussite actuelle.

Nous rappelons dans la première partie, aussi brièvement, mais aussi complètement que possible, les notions théoriques utiles de stéréoscopie. La partie physiologique attirera plus spécialement notre attention, ainsi que l'étude de la pseudoscopie, étude capitale pour bien comprendre la radioscopie en relief mais qui n'a jamais été qu'effleurée.

Dans la deuxième partie, nous verrons les essais antérieurs. Cette étude historique nous fera connaître les causes d'échecs. Les différents auteurs avouent d'ailleurs parfois les inconvénients de leurs appareils, ou leurs recherches ultérieures les font deviner. Quoi qu'il en soit, aucun des procédés antérieurs n'a subsisté.

Si cela augmente la valeur de la pleine réussite obtenue par le Docteur Bardou, cela n'ôte rien à celle des recherches, malheureusement infructueuses, entreprises par ses devanciers.

Dans une troisième partie, nous verrons enfin la description de l'appareil conçu par le Docteur Bardou, les essais qui en ont été faits par le Professeur Willemin, et les conclusions pratiques au point de vue chirurgie de guerre que l'on peut en tirer.

PREMIERE PARTIE

ETUDE SOMMAIRE DE LA STEREOSCOPIE

Introduction

Lorsque nous examinons un objet réel en vision binoculaire, il s'en forme sur nos rétines deux images qui ne sont pas absolument semblables. Cette dissemblance est la cause principale de la sensation de relief.

Inversement, deux images différentes d'un même objet peuvent en donner l'illusion. Mais un tel résultat ne sera obtenu que si l'on observe des règles précises, tant pour obtenir ces images, que pour les examiner. Nous devons en particulier nous préoccuper de la conservation des formes.

Mais l'objet dont nous allons avoir l'illusion est théoriquement identique à celui que nous donnerait une construction géométrique à partir des images examinées. Toutefois, pratiquement des facteurs physiologiques vont s'introduire et modifier les résultats purement géométriques.

Nous sommes donc amenés à étudier successivement la stéréoscopie géométrique et la stéréoscopie physiologique. Mais, avant cette étude, il sera utile d'exposer quelques généralités sur les perspectives géométriques.

CHAPITRE PREMIER

NOTIONS GEOMETRIQUES SUR LES PERSPECTIVES

PERSPECTIVE SIMPLE

La perspective linéaire est l'ensemble des règles qui permettent de représenter correctement les objets sur un plan.

Considérons (fig. 1) :

- 1° Un objet formé par les points A.B.C. ;
- 2° Un plan P. ;
- 3° Un point O. non situé dans ce plan.

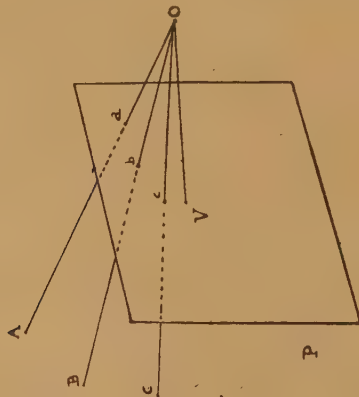


Fig. 1

Si nous joignons par des droites les points A.B.C. au point O., ces droites traverseront le plan P. respectivement en a.b.c., et les points a.b.c. formeront par définition les perspectives centrales des points A.B.C. Leur ensemble formera la perspective a.b.c.

Abaissons du point O. la perpendiculaire sur le plan P., soit V. le pied de cette perpendiculaire. La longueur O.V. et la position du point V. déterminent la position du point O. par rapport à la perspective a.b.c.

PERSPECTIVES CONJUGUEES

Le point O. a reçu le nom de point de vue.

Le plan P., celui de plan du tableau.

Le point V., celui de point principal.

La ligne O.V., celle de rayon principal.

La longueur O.V., celle de longueur ou de distance principale.

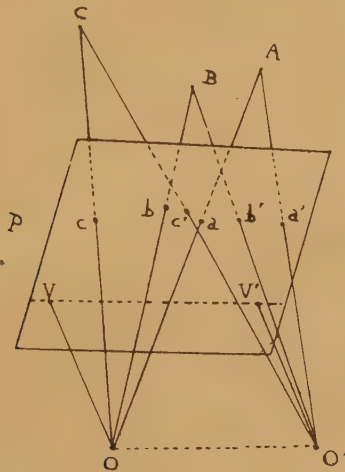


Fig. 1 bis

Tout plan parallèle au plan du tableau est un plan de front.

La perspective simple a.b.c. correspond à un nombre infini d'objets, les points A.B.C. étant soumis à la seule condition d'être sur les demi-droites Oa. Ob. Oc. Elle ne peut donc pas définir une forme donnée. Il n'en sera plus de même si, au lieu d'une seule perspective de l'objet A.B.C., nous en construisons deux à partir de deux points de vue différents O et O' et sur deux plans P et P' quelconques. Soient a.b.c. et a'.b'.c'. ces deux perspectives.

Il est évident que les droites Oa, et O'a'. se couperont au point de l'espace ou était A., de même pour Ob et O'b', pour Oc et O'c'. Nous pourrons ainsi reconstituer point par point l'objet qui a donné naissance à ces deux perspectives. Les perspectives qui ont permis cette reconstitution sont des perspectives conjuguées.

Nous avons supposé deux plans quelconques dans ce qui précède ; mais, dans la pratique, des simplifications importantes s'imposent : dans la suite, toutes les fois que nous parlerons de perspectives conjuguées, nous aurons en vue celles qui sont obtenues :

1° Sur un même plan.

Les deux rayons principaux seront donc parallèles entre eux.

2° Sur un plan parallèle à la ligne qui joint les points de vue.

Ainsi les distances principales OV et O'V' sont égales entre elles.

Dans de telles perspectives, il est utile de considérer certains éléments nouveaux.

Ce sont :

1° Le plan d'horizon principal: c'est le plan perpendiculaire au plan du tableau qui passe par les deux points de vue. Il contient donc les deux rayons principaux ;

2° La ligne d'horizon principale: c'est l'intersection du plan précédent et du plan du tableau. Cette ligne contient les points principaux et est parallèle à la ligne qui joint les deux points de vue entre eux.

RECONSTITUTION GEOMETRIQUE A PARTIR DE DEUX PERSPECTIVES

Nous avons vu, qu'au point de vue strictement géométrique, l'indétermination d'un objet disparaît si nous donnons sur le même tableau les perspectives à partir de deux points de vue différents.

Prenons pour simplifier le plan d'horizon principal R comme plan de figure. Les deux points de vue O et O' sont à une même distance de la trace du plan du tableau.

A chaque point A de R correspondent deux perspectives conjuguées a et a' (qui, dans le cas général, sont sur une horizontale).

Inversement, tout système de points a et a' sur une horizontale, fixe complètement la position du point objet A.

Avec deux points de vue O et O' à la distance $OO' = E$ l'un de l'autre, à la distance $OP = OP' = D$ du

tableau, nous obtenons deux perspectives conjuguées; elles correspondent bien à un objet déterminé.

Nous allons chercher ce que devient cet objet et dans quelles conditions il subsiste lorsque nous déplaçons les points de vue et les perspectives les uns par rapport aux autres.

Dans le cas de la figure on a évidemment :

$$\frac{aa'}{E} = \frac{d-D}{d} = 1 - \frac{D}{d}$$

$$e = E - aa' = \frac{ED}{d} \quad (1)$$

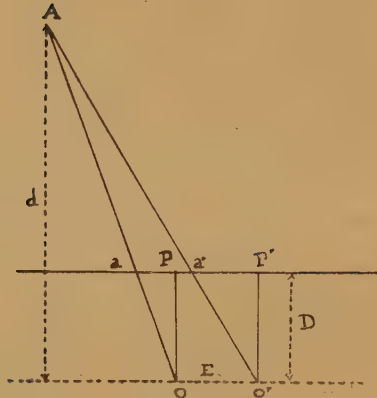


Fig. 2

e est la parallaxe stéréoscopique du point A ; nulle pour $d=\infty$ (Oa et $O'a'$ sont parallèles), elle devient égale à E pour $d=D$ (a et a' confondus).

Notons enfin que les points de même parallaxe stéréoscopique sont dans un même plan de front.

Pour qu'à partir des perspectives, l'objet soit reconstitué (plus ou moins déformé comme nous allons le voir), il faut que les droites qui vont respective-

ment des points de vue à tous les points homologues des perspectives, se coupent. Il en sera ainsi pour tous les cas que nous allons traiter. Mais cette condition ne serait réalisée que pour une partie des points homologues si les perspectives tournaient l'une par rapport à l'autre.

DEFORMATION DE L'OBJET PAR DEPLACEMENT DES POINTS DE VUE OU DES PERSPECTIVES

1° Translation des points de vue normale au tableau.

La distance D devient D'. Les distance E et aa' restant les mêmes, d varie. On a (fig. 3) :

$$\frac{D}{d} = \frac{D'}{d'}$$

Donc, à un plan de front P de l'objet, correspond

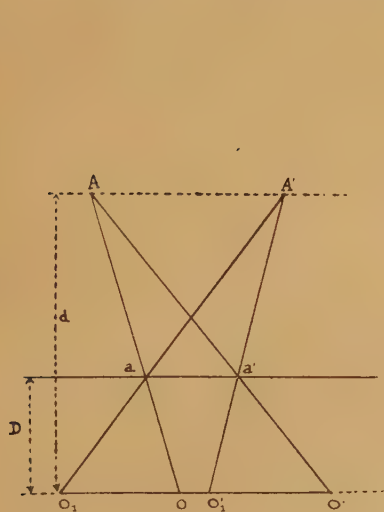


Fig. 3

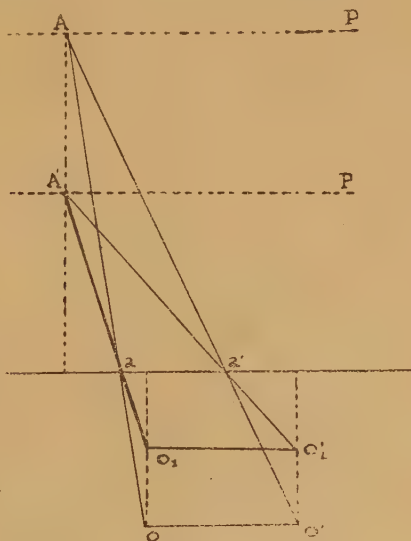


Fig. 4

un plan de front P' de l'objet déformé. Dans ces plans, les figures restent inaltérées, mais les dimensions normales au tableau sont modifiées. En particulier, quand on éloigne les points de vue du plan des perspectives conjuguées, les dimensions antéropostérieures de l'objet croissent : le relief augmente.

2° Translation des points de vue parallèle au tableau.

Soit d'abord une translation horizontale de valeur h (fig. 4).

Les plans de front P et P' coïncident, les figures dans ces plans sont inaltérées. Mais elles glissent horizontalement d'une quantité h reliée à H par la formule :

$$\frac{h}{H} = \frac{d-D}{D} = \frac{d}{D} - 1$$

Un même raisonnement nous montrerait que pour un déplacement vertical V on a :

$$\frac{v}{V} = \frac{d-D}{D} = \frac{d}{D} - 1$$

De là résulte une modification des angles de l'objet reconstitué. Par exemple, deux perspectives conjuguées qui donneraient un cube pour une certaine position des points de vue, donneront un parallélipipède simplement ou doublement oblique, après translation des points de vue parallèlement au tableau. La translation normale au tableau transforme le cube dont une des faces est supposée parallèle au tableau, en un prisme droit à base rectangle.

3° Variation de la distance des points de vue.

Il suffit de déplacer O et O' de quantités égales en sens contraire ; les déplacements inégaux peuvent être considérés comme résultant de déplacements égaux et de sens contraire, combinés avec un déplacement horizontal commun (fig. 5).

On a en partant des formules (1) :

$$(1 - \frac{D}{d}) E - (1 - \frac{D}{d'}) E' ; \frac{E'}{d'} - \frac{E}{d} = \frac{E' - E}{D} \quad (2)$$

Un plan de front P est transformé en un plan de front P'.

Les figures dans ces plans ne sont plus identiques. Elles sont la projection l'une de l'autre par rapport au pointé R équidistant de O et de O' (ou de O¹ et de O²).

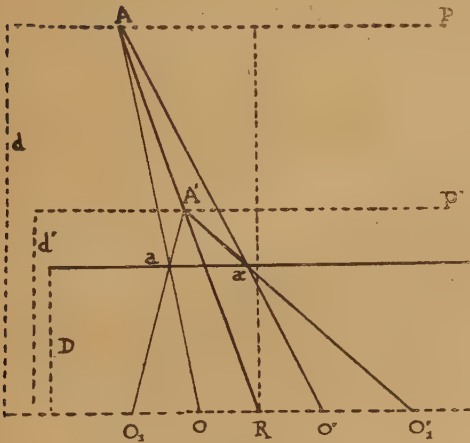


Fig. 5

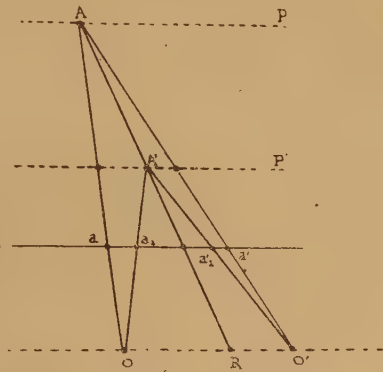


Fig. 6

4° Variation de la distance des perspectives.

On a en partant de la formule (1) (fig. 6) :

$$\frac{1}{d'} - \frac{1}{d} = \frac{2a}{ED} \quad (3)$$

où a est le déplacement d'une perspective dans un sens et de l'autre en sens contraire.

Un plan de front P est transformé en un plan de front P' .

Les figures dans ces plans ne sont plus identiques, elles sont la projection l'une de l'autre par rapport au point R équidistant de O et de O' .

5° Obtention d'un objet semblable.

Faisons simultanément les deux opérations précédentes.

Laissant D invariable, modifions E et la distance des perspectives de manière que les projections des points de vue restent au même point de ces perspectives.

Cela revient à écrire :

$$E' = E - 2a.$$

Rapprochons les deux points de vue : d devient d' et on a d'après (2) :

$$\frac{E-2a}{d'} - \frac{E}{d} = \frac{2a}{D}$$

Rapprochons les perspectives d'une quantité égale ; d' devient d'' . La formule (3) donne, en remplaçant E par $E - 2a$:

$$\frac{E-2a}{d''} - \frac{E-2a}{d'} = \frac{2a}{D}$$

Additionnons :

$$\frac{E-2a}{d''} = \frac{E}{d} \quad (4)$$

Ainsi après les deux opérations, un plan de front P est transformé en un plan de front P'. Les distances de ces plans au plan de front qui contient les points de vue sont dans un rapport constant d'après (4). Mais, en outre, les deux opérations effectuées isolément transforment un point A en un point A' qui se trouve sur la droite AR (le point R étant le milieu de 00'). Donc, par les deux opérations effectuées simultanément, l'objet est transformé en un objet semblable. Nous avons, en somme, effectué une homothétie dont le centre est le point R et le rapport $\frac{E-2a}{E}$.

CHAPITRE DEUXIEME

STEREOSCOPIE GEOMETRIQUE

RECONSTITUTION STEREOSCOPIQUE

Nous avons vu que les perspectives conjuguées permettent la reconstitution géométrique de l'objet qui leur a donné naissance. Cette propriété forme la base de la stéréoscopie. En effet, reprenons l'objet ABC, supposons un tableau vertical et deux points de vue OO' sur une horizontale et à la même distance du tableau. Pour préciser, soit $OO'=6,6$ cm. distance moyenne des pupilles.

Nous obtiendrons deux perspectives visuelles conjuguées.

Supprimons l'objet, mais laissons les perspectives. Plaçons les pupilles en O et O'. Disposons l'expérience de telle façon que chacun des yeux n'aperçoive que la perspective qui lui correspond. L'expérience montre qu'on a la sensation de relief. Ce n'est pas étonnant puisque, en définitive, rien n'est changé dans les variations de convergence des yeux explorant les dessins plans.

Il ne serait cependant pas exact de dire que rien n'est modifié. Si les variations de convergence (dont nous étudierons plus loin l'importance) sont les

mêmes, les variations de l'accommodation ne le sont pas, puisque celle-ci est maintenue invariable. Nous éprouverons donc une certaine difficulté pour projeter les perspectives en un solide réel.

Il faut encore noter que les perspectives proprement géométriques que fournit le solide sont les traces sur le tableau de pinceaux lumineux ayant pour sommet les points du solide. Théoriquement ce sont les objets lumineux n'émettant que dans une seule direction. Nous les remplaçons par des objets lumineux émettant dans toutes les directions. On comprend alors qu'à tout système de perspectives conjuguées puissent correspondre une infinité de solides différents, parfaitement déterminés, obtenus par déplacement des perspectives dans les plans ou par déplacement des points de vue. Mais il n'existe pour la reproduction correcte de l'objet qu'une position des points de vue, celle même qui a servi à prendre les perspectives.

CONDITIONS GEOMETRIQUES DE RECONSTITUTION FIDELE D'UN OBJET

Si nous offrons à l'œil des perspectives conjuguées, l'expérience montre qu'il reconstruit un objet. Les rayons visuels ont donc fait, par leur direction, ce que nous avons fait précédemment par notre construction géométrique. Il semble naturel d'admettre que toutes les déformations que nous avons étudiées, se produisent pour cet objet quand nous déplaçons les yeux par rapport aux perspectives, ou les perspectives par rapport à l'autre.

Aussi les règles qui découlent de ces considérations géométriques devront-elles être intégralement appliquées à la reconstitution de l'objet lorsque nous utiliserons la vision binoculaire de perspectives accouplées.

Ce sont ces règles que nous allons formuler en les appliquant à la reconstitution par les yeux.

Nous avons vu en effet que :

1° Dans les perspectives conjuguées, comme dans les perspectives simples, les points de vue sont liés invariablement à la perspective correspondante.

En conséquence : chaque œil doit être placé au point de vue de l'épreuve qui lui correspond, c'est-à-dire que :

a) Il doit regarder la perspective qui lui correspond ;

b) Il doit en être séparé par la distance principale ;

c) Le pied de la perpendiculaire abaissé de l'œil sur le plan des perspectives doit coïncider avec le point principal.

2° Non seulement, chaque perspective est liée à son point de vue, mais encore aucune rotation de chacune n'est permise.

En conséquence : la ligne d'horizon principale d'une perspective doit être dans le prolongement de la ligne d'horizon principale de l'autre perspective.

3° Les dimensions dans l'objet reconstitué ne sont conservées que si aucun déplacement relatif des perspectives n'a été effectué. La forme est conservée dans le seul cas de déplacement où l'ensemble des perspectives et des points de vue se sont éloignés ou rap-

prochés de la même quantité suivant une ligne d'horizon.

En conséquence : Si l'on ne veut conserver que la forme, il est géométriquement permis de prendre les écartements de points de vue différents de la distance des yeux.

L'observation de ces règles nécessite évidemment la connaissance, à propos de chaque perspective, du point principal, de la distance principale, de la ligne d'horizon principale.

CHAPITRE TROISIEME

STEREOSCOPIE PHYSIOLOGIQUE APPRECIATION BINOCULAIRE DU RELIEF

THEORIE DES PROJECTIONS

La vision binoculaire est le moyen usuel d'apprécier les distances et le relief.

D'après la théorie des projections, nos rétines fonctionnent à la manière des plans de la géométrie descriptive. Nous reportons le point vu à l'intersection des lignes visuelles. Sans qu'il soit nécessaire de mouvoir les yeux, nous avons la notion et la mesure du relief d'après la conscience de la position relative actuelle des yeux et de la convergence actuelle des lignes visuelles. Le jugement sur la distance est dû à la comparaison immédiate des images obtenues simultanément par les yeux, comparaison rendue possible par le fait que les images sont simultanées.

Les expériences montrent en effet que nous pouvons avoir une notion du relief d'après les sensations instantanées, mais elles montrent également que nous n'avons plus la mesure de ce relief.

APPRECIATION DU RELIEF PAR L'ACCOMMODATION

On a voulu faire intervenir l'accommodation dans la sensation de relief et, en effet, à une convergence donnée est ordinairement associée une accommodation déterminée. Mais si les variations brusques de l'accommodation nous sont sensibles, la grandeur actuelle de l'accommodation ne fournit aucun renseignement précis. Nous sommes incapables d'indiquer, même vaguement, à quelle distance se trouve l'image virtuelle fournie par une loupe. En outre, les variations de l'accommodation ne sont que peu sensibles pour des objets assez éloignés de l'œil. Dans la vision monoculaire, par exemple (où l'accommodation seule intervient), deux objets situés respectivement à 50 centimètres et 60 centimètres de l'œil ne peuvent nous apparaître sur le même plan. De même, deux objets situés à 5 mètres et 6 mètres.

L'accommodation n'intervient donc pas dans la sensation de relief. Un peu d'habitude, d'ailleurs, permet de dissocier la convergence de l'accommodation. Ainsi l'on arrive à fusionner sans stéréoscope des images destinées à cet appareil, ce qui exige un effort d'accommodation sans convergence des lignes visuelles.

MOUVEMENT DES YEUX. THEORIE DE BRUCKE

La mesure de relief est fournie par le mouvement des yeux.

Regarder un objet consiste à faire voyager le point de fixation à la surface de cet objet, ce qui exige de

nombreux tâtonnements visuels. Nous essayons une série de convergences et d'accommodations dont nous percevons les variations. Ce voyage d'exploration binoculaire permet de reconnaître les points de l'objet qui sont les uns par rapport aux autres plus éloignés ou plus voisins de nous. Bien que cette localisation relative ne nécessite que peu de temps, elle est cependant assez complexe.

Nous jugeons de la distance et du relief, non par la différence actuelle des images (les yeux restant immobiles), mais grâce à cette condition que pour fixer successivement les différents points de l'objet, nous devons recourir à des convergences et à des accommodations différentes. Cette palpation visuelle est nécessairement liée à une différence dans les images ; mais si cette différence est une circonstance nécessaire, elle n'est pas la cause de l'appréciation du relief.

Remarquons dans ce sens que physiologiquement l'acuité visuelle diminue rapidement à peu de distance du point de fixation et que la vision indirecte manque de précision. En somme, nous ne regardons simultanément qu'un petit fragment de l'objet et nous utilisons pour cela la partie la plus sensible de notre rétine.

Le travail binoculaire, d'où résulte la sensation de relief stéréoscopique, consiste donc à palper simultanément des dessins différents pour en associer au mieux les points, ce qui implique une série de mouvements des yeux avec variation de la convergence.

SENSATION DE RELIEF

Ainsi la sensation de relief nous est donnée par les petites variations de l'angle visuel. Elle peut donc être mesurée par l'angle a de rotation de chaque œil. cet angle correspond évidemment à la différence des angles de convergence.

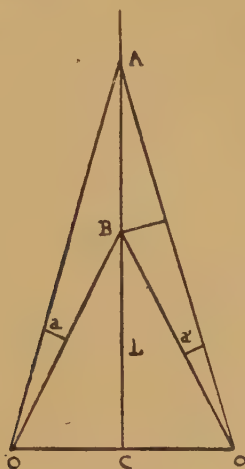


Fig. 7

Soit O et O' , les yeux ; soit $E=OO'$ la base (distance des pupilles). Le point A est à distance L de C , milieu de OO' . Soit enfin $dL=AB$ la variation de distance.

On trouve aisément :

$$a = \frac{E}{2} \frac{dL}{L^2}$$

Cette relation nous montre immédiatement que :

1° Si L et dL sont fixes, la sensation de relief est proportionnelle à E . Les sujets à grand écart inter-pupillaire sont donc avatagés ;

2° Si E et L sont fixes, la sensation de relief est proportionnelle à la variation de distance ;

3° La sensation de relief décroît en raison inverse du carré de la distance. La sensation de relief atteindra donc son maximum lorsque l'objet examiné sera au *punctum proximum*.

LATITUDE DE RECONSTITUTION

Nous avons vu qu'il n'existait, pour la reproduction correcte d'un objet, qu'une position des points de vue : celle qui a servi à prendre les perspectives. Mais, en pratique, l'œil projette toujours les deux perspectives planes sur un objet extérieur inexistant et qui leur sert d'interprétation (même quand, géométriquement parlant, les points ne se correspondent pas rigoureusement deux à deux, autrement dit même lorsque les lignes de visée qui passent par deux points homologues pris respectivement dans chacune des perspectives ne se coupent pas). Il y a toujours une tolérance.

Examinons quelle relation existe entre l'objet qui a servi à obtenir les perspectives et l'objet reconstitué.

Il y a identité si les conditions géométriques définies plus haut sont réalisées. Mais en pratique elles ne le sont jamais. Aussi, aux déplacements relatifs vont correspondre des déformations de l'objet restitué. Nous allons voir en relief un objet qui n'a généralement qu'un lointain rapport avec la réalité. L'expérience prouve que cela n'a aucune importance.

DISSOCIATION DU RELIEF ET DE LA POSITION ABSOLUE

Nous avons supposé dans ce qui précède que la vision stéréoscopique restituait un objet bien déterminé, conformément à la théorie géométrique. En pratique, il est loin d'en être ainsi. La distance de l'objet restitué reste généralement indéterminée. Seul est déterminé son relief.

Qu'arrive-t-il, en effet, si nous écartons deux perspectives conjuguées l'une de l'autre jusqu'à les séparer ?

L'expérience montre que nous continuons à les fusionner et que la sensation de relief subsiste à peu près sans modification.

Il est paradoxal que le relief subsiste sans changement, quel que soit l'écartement des perspectives conjuguées (à la seule condition, bien entendu, qu'on ne dépasse pas l'écartement des pupilles). Ceci nous montre qu'il est impossible de déterminer une distance absolue par la vision binoculaire. La vision binoculaire ne peut nous fournir que des distances relatives.

Nous reconnaissons par exemple que le segment A est incliné sur le tableau T (fig. 8), à ce que ses perspectives A' et A'' sont inégales, ou, ce qui revient au même, à ce que les angles a' et a'' , dont il faut faire tourner respectivement les lignes visuelles pour aller d'un bout à l'autre de ces perspectives, sont inégaux. Or le rapport a'/a'' change peu quand on déplace les perspectives A' et A'' dans le tableau. Donc l'angle que fait le segment A avec le tableau reste inaltéré

par le déplacement des perspectives, ou, ce qui revient au même, le relief ne change pas.

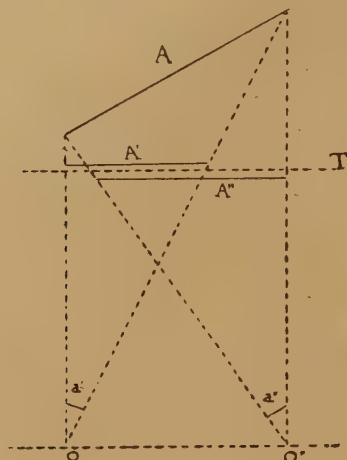


Fig. 8

Le relief ne change pas davantage quand on rapproche ou qu'on éloigne le tableau, les angles a' et a'' augmentant ou diminuant alors dans le même rapport. On peut ainsi expliquer le paradoxe d'un objet situé à une distance indéterminée et dont le relief semble à peu près invariable.

Notons que ce résultat expérimental est en contradiction absolue avec la théorie des projections.

CONCLUSION : CONDITIONS D'EXAMEN A REALISER PRATIQUEMENT

L'étude géométrique nous avait conduit à des conditions d'examen extrêmement rigoureuses. L'étude expérimentale nous a montré que celles-ci ne sont pas rigoureusement indispensables. Il est donc inutile de

réaliser pour l'examen toutes les conditions exactes correspondant à l'obtention des perspectives.

Pour obtenir une reconstitution correcte, il suffira pratiquement que :

1° Chaque œil regarde la perspective qui lui correspond ;

2° La ligne d'horizon principale d'une perspective soit dans le prolongement de la ligne d'horizon principale de l'autre perspective ;

3° Le plan médiateur des points principaux soit approximativement en coïncidence avec le plan médiateur des points de vue.

Bien entendu, la distance des points principaux ne doit pas dépasser la distance des pupilles, ce qui exigerait un strabisme divergent pour la vision simultanée des perspectives.

Quant à la distance à laquelle doit se faire l'examen, elle est, en pratique, variable suivant le procédé utilisé et pour chaque procédé « suivant la vision et les habitudes de chaque observateur » (Diocles).

CHAPITRE IV

NOTIONS SUR LA PSEUDOSCOPIE

(d'après Violette) ⁽¹⁾

GENERALITES

Quand on place devant l'œil droit la perspective qui correspond à l'œil gauche et inversement, le relief est renversé. Les creux sont remplacés par des pleins et inversement.

« Cette proposition, déclare Bouasse, ne signifie rien, ne serait-ce qu'en raison de l'espace infini qui est derrière le corps et qu'on ne peut évidemment pas ramener en avant ».

On appelle pseudoscopie cette façon de considérer les perspectives par opposition à l'orthoscopie que nous avons étudiée et où chaque œil regarde respectivement la perspective qui lui correspond.

« D'une manière générale, continue Bouasse, la pseudoscopie fournit une figure qui n'a qu'un lointain rapport avec la figure primitive ; ce qu'il est facile de montrer sur des cas simples ».

« En stéréoradiographie, dit au contraire Diocles, on peut obtenir non seulement une vue correcte

(1) Ces notions, à peu près entièrement nouvelles, nous ont été fournies par notre ami, François Violette. Nous le remercions ici vivement de nous en avoir donné la primeur.

antéro-postérieure, mais aussi une vue pseudoscopique postéro-antérieure de valeur presque égale ».

« Certaines parties du corps examiné, écrit à son tour Hasselwander, paraissent en orthoscopie éloignées et cachées. On les distingue mal. En pseudoscopie au contraire, elles s'éclairent brusquement ; phénomène difficile à interpréter psychologiquement, mais qui n'en existe pas moins ».

« Les modifications de l'image pseudoscopique ne sont pas sans règle précise, comme de nombreux auteurs semblent l'admettre, déclare Walter, bien au contraire, comme l'expérience le montre, elles semblent découler de formule très simple ».

Ce sont ces formules et les propriétés générales des figures pseudoscopiques que nous allons essayer de rechercher d'après l'étude qui en a été faite par Violette.

PROPRIETES GEOMETRIQUES DES FIGURES OBTENUES PAR PSEUDOSCOPIE

Pseudoscopie simple.

Soit O l'œil gauche, O' l'œil droit ; $OO' = E$, la distance interpupillaire ; soit D la distance principale.

Prenons pour plan de figure le plan d'horizon principal. Dans ce plan T est la trace du plan du tableau, OO' la trace du plan de front qui contient les points de vue ; U la trace du plan de front équidistant de T et de OO' .

Prenons dans le plan de figure, pour axe de coordonnées la perpendiculaire à OO' en son milieu R . L'origine est le point I où cette droite coupe la trace du plan U .

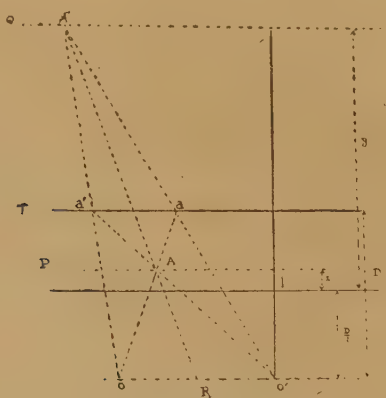


Fig. 9

Soit un plan A dans le plan de front P. Pour simplifier, supposons en outre que A est dans le plan de la figure. A donne par rapport à O la perspective a, par rapport à O', la perspective a'.

Si l'on joint O' à a et O à a', l'intersection des droites O'a et Oa' se fait en A' image pseudoscopique de A dans le plan de front Q.

On remarque immédiatement que A' est le conjugué de A par rapport à Ret S, que le plan Q est le conjugué de P par rapport au plan T du tableau et OO' des points de vue.

Ainsi à un plan de front P correspond un nouveau plan de front Q.

On démontrerait aisément que la droite AA' passe toujours par le point R au milieu de OO' (Théorème de Ceva, propriétés des pôles et polaires). Le point R est donc un centre d'homothétie directe qui permet de faire correspondre à toute figure du plan P une figure homothétique dans le plan Q.

Si l'on appelle x et y les distances des plans P et Q au plan U, on voit que l'on a :

$$xy = \frac{D^2}{4}$$

x et y sont évidemment toujours de mêmes signes et positifs, ce qui implique :

$$x > 0$$

Le rapport K de l'homothétie de centre R qui fait correspondre Q à P est donc :

$$K = \frac{D}{2x}.$$

On voit donc, que l'objet et son image pseudoscopique ne sont pas réellement homothétique. Le rapport d'homothétie dans l'espace qui permet de passer de l'objet à l'image

$$K = \frac{D}{2x}.$$

n'est pas constant et dépend de x . L'image n'est en général pas semblable à l'objet sauf si celui-ci est tout entier contenu dans un plan de front.

Nous pouvons pour un accroissement de profondeur dx de x calculer l'accroissement de profondeur correspondant dy de y . On a évidemment :

$$dy = \frac{D^2}{4 \times 2} dx$$

On voit alors que l'accroissement de profondeur dx de x est égal et opposé à celui dy de y pour :

$$x = y = \frac{D}{2}$$

C'est aussi pour cette valeur que la somme des déformations correspondantes :

$$dx + dy = dx \left(1 - \frac{D^2}{4 \times 2} \right)$$

et minimum et égale à 0.

Si l'on appelle M coefficient de déformation :

$$1 - \frac{D^2}{4 \times 2}$$

on voit que l'on a le tableau de variation :

X	o	→	$\frac{D}{2}$	→	+ ∞
$\frac{c}{M}$					
M	+ ∞	→	O	→	I

Résumé.

En somme dans une transformation pseudoscopique simple:

1° A un plan de front P correspondant un plan de front Q'.

2° Le produit de la distance des plans P et Q au plan U (équidistant des plans T et OO') est constant

et égal à $\frac{D^2}{4}$.

3° Les figures du plan Q dérivent des figures du plan P par une homothétie directe de centre R et de

valeur $K = \frac{D}{2x}$.

Le plan du tableau est à lui-même sa propre image.

4° La formule des accroissements de profondeur dy de y en fonction des accroissements dx de x est :

$$dy = -\frac{D^2}{4 \times 2} dx$$

Le coefficient de déformation somme des accroissements en profondeur et minimum pour $x = \frac{D}{2}$,

c'est-à-dire pour les plans P et Q confondus avec celui du tableau.

Il y a intérêt pour avoir une image pseudoscopique avec le minimum de déformation, à rapprocher l'objet du plan du tableau le plus possible. Le mieux dans cet ordre d'idées serait d'avoir une image orthoscopique admettant le plan du tableau comme plan moyen.

DEFORMATION DES IMAGES PSEUDOSCOPIQUES PAR DEPLACEMENT DES POINTS DE VUE OU DES PERSPECTIVES

Translation des points de vue normale au tableau.

La distance D devient D' . Les distances E et aa' restent les mêmes ; x et y varient seuls. On voit aisément que l'on a :

$$\frac{x}{D} = \frac{y'}{D'}$$

Donc au point de front Q de l'image pseudoscopique correspond un point de front Q de l'image pseudoscopique déformée. Ici encore quand on éloigne les points de vue du plan du tableau, le relief augmente.

Translation des points de vue parallèle au tableau.

Supposons d'abord une translation horizontale H . Les plans de front coïncident, les figures dans ces plans restent inaltérées, mais elles glissent horizontalement d'une quantité h telle que :

$$\frac{h}{H} = \frac{Y - D/2}{D} = \frac{D - 2x}{4x}.$$

Même raisonnement pour un déplacement dans le sens vertical.

Variation de la distance des points de vue.

Un plan de front est transformé en un plan de front. Les figures dans les plans ne sont plus identiques. Mais si les points de vue ont été rapprochés ou éloignés symétriquement par rapport à R, elles sont la projection l'une de l'autre par rapport à ce point dans les plans correspondants.

Soit E la distance des points de vue, E' la nouvelle distance, on trouve aisément :

$$y' = \frac{D \cdot (E' - E)x + (E' + E)D/2}{2 \cdot (E' + E)x + (E' - E)D/2}$$

On a immédiatement le tableau de variation de y' quand x varie de 0 à l'infini.

x	0	→ D/2	→ +infini
y'	$\frac{E' - E}{2}$	$\frac{D}{2}$	$\frac{E' + E}{2}$
	$\frac{E' + E}{2}$	$\frac{D}{2}$	$\frac{E' - E}{2}$

Mais il ne suffit pas seulement que x soit entre 0 et l'infini. Il faut encore que les valeurs correspondantes de y' soient en même temps entre 0 et l'infini.

Or, on a :

$$y' = 0 \text{ pour } x' = \frac{E' + E}{E' - E} \frac{D}{2} \text{ et } y' = \text{infini pour}$$

$$x'' = \frac{E' - E}{E' + E} \frac{D}{2}$$

Il faut donc classer les valeurs x' et x'' par rapport à 0 et l'infini suivant les valeurs de E', les classer

l'une part rapport à l'autre et connaître le sens de variation de y' .

E'	O	→ +E	→ +infini
x'	+1	+ +infini	— 1
x''	+1	+	— 1
$x' - x''$		+	—
y'	décroissant.		

On en tire immédiatement les conclusions suivantes :

1° $E' > E$. Ce qui revient à éloigner les points de vue. Toutes les valeurs de x entre O et l'infini conviennent ; y' , fonction constamment décroissante, au lieu d'être bornée comme y , entre O et l'infini, se trouve tout entière située entre les deux plans d'abscisses.

$$y'_1 = \frac{E' + E}{E' - E} \frac{D}{2} \quad \text{et} \quad y'_2 = \frac{E' - E}{E' + E} \frac{D}{2}.$$

Autrement dit, après écart des points de vue, l'image pseudoscopique transformée est vue comme comprimée avec un relief diminué.

2° $E' < E$, ce qui revient à rapprocher les points de vue. Toutes les valeurs de x ne sont plus acceptables. Seules les valeurs telles que

$$-\frac{E' - E}{E' + E} \frac{D}{2} < x < -\frac{E' + E}{E - E'} \frac{D}{2}$$

Il est à noter que pour cet intervalle privilégié, le relief augmente.

Variations de la distance des perspectives.

Un plan de front est transformé en un plan de front. Les figures dans les plans ne sont plus identiques, mais si les perspectives ont été rapprochées ou éloignées, symétriquement, par rapport à R, elles sont les projections l'une de l'autre par rapport à ce point dans les plans correspondants.

Soit A la valeur de l'éloignement algébrique des perspectives, on trouve facilement :

$$y' = \frac{D}{2} \frac{Ax + D/2(A+2E)}{(2E-A)x - AD/2}$$

On a immédiatement le tableau de variation de y' quand x varie de 0 à l'infini

x	0	→ D/2	→ +infini
	$\frac{A+2E}{A} \quad \frac{D}{2}$	$\frac{E+A}{E-A} \quad \frac{D}{2}$	$\frac{A}{2E-A} \quad \frac{D}{2}$

Mais il ne suffit pas que x soit entre 0 et l'infini, il faut encore que les valeurs correspondantes de y' soient en même temps entre 0 et l'infini.

Or on a :

$$y' = 0 \text{ pour } x' = -\frac{D}{2} \frac{A+2A}{A} \text{ et } y' = \text{l'infini pour}$$

$$x'' = \frac{A}{2E-A} \frac{D}{2}$$

Il faut donc classer les valeurs x' et x'' par rapport à 0 et l'infini suivant les valeurs de A, les classer l'une par rapport à l'autre et connaître le sens des variations de y'.

On en vient ainsi au tableau suivant :

A	$-\infty$	$-2E$	0	$+2E$	$+\infty$
x'	$-D/2$	0	$+\infty$	$-D$	$-D/2$
x	$-D/2$	$-D/4$	0	$+\infty$	$-D/2$
$x' - x''$	$-$	$+$	$-$	$+$	
y'	décroissante.				

On en tire immédiatement les conclusions suivantes :

1° $A < -2E$.

Ceci revient à rapprocher les perspectives de plus du double de la distance des points de vue.

Le problème est impossible.

2° $-2E < A < 0$.

Ici, l'on rapproche encore les perspectives, mais de moins du double de la distance des points de vue.

Seules conviennent les valeurs de x telles que

$$0 < x < -\frac{D}{2} \frac{A+2E}{A}$$

L'image pseudoscopique de x se trouve tout entière entre les plans de coordonnées.

$$y' = -\frac{A+2E}{A} \frac{D}{2} \quad \text{et} \quad y=0.$$

Notons le gros intérêt de cette transformation. C'est dans cette région que nous aurons les déformations minimum.

3° $0 < A < 2E$.

Ceci revient à éloigner les perspectives de moins du double de la distance des points de vue.

Seules sont acceptables les valeurs de x telles que :

$$\frac{A}{2E-A} - \frac{D}{2} < x.$$

4° $2E < A$.

Si l'on éloigne de plus du double de la distance des points de vue les perspectives, il est impossible d'avoir aucune image recevable.

Remarques. — Nous avons dit dans le 1° que le problème était impossible. Ce n'est pas tout à fait exact. L'étude géométrique montre qu'il existe un petit intervalle tel que x est situé entre les points de vue et le plan médiateur U (des plans du tableau et de oo'). Pratiquement cela n'offre aucun intérêt.

Au contraire, on peut noter qu'il est possible dans le 2° de considérer les x négatifs tels que l'on ait cependant $x'' < x$.

L'étude géométrique nous montrerait en effet que x'' est toujours entre U et les points de vue et nous savons que son image est à l'infini. Donc il est permis de mettre comme condition

$$\frac{A}{2E-A} - \frac{D}{2} < x < -\frac{D}{2} - \frac{A+2E}{A}$$

PSEUDOSCOPIE PHYSIOLOGIQUE

Conditions de possibilité de la pseudoscopie.

« La pseudoscopie, dit Bouasse, n'a aucun sens, ne serait-ce qu'en raison de l'espace infini qui est derrière le corps et qu'on ne peut ramener en avant ».

« L'affirmation de M. Bouasse, dit au contraire Hasselwander, pour définitive qu'elle soit, est peut-être un peu hâtive. Si la stéréoscopie la plus communément employée et la plus connue est la stéréoscopie photographique, il existe aussi une stéréoscopie radiologique dont l'intérêt n'est certainement pas moindre, quoique n'étant connue et appréciée que de quelques initiés... Si, en radiostéréoscopie, on préfère habituellement le point de vue orthoscopique, les meilleurs auteurs recommandent de ne pas négliger le point de vue pseudoscopique ».

Et en effet, il est inutile et inintéressant d'essayer de renverser le relief d'un couple photographique ordinaire. En admettant que la fusion soit possible, on aura la vision d'une empreinte déformée de l'objet. Ainsi, un livre placé contre un mur plan nous apparaîtra pseudoscopiquement comme le moule du livre enfoncé dans la muraille et, comme l'affirme Bouasse, nous nous refusons à fusionner et à interpréter de pareilles absurdités.

Et, dans le cas où l'on essaie de regarder pseudoscopiquement des couples photographiques, l'expé-

ience réussit généralement assez mal, l'illusion étant détruite par la connaissance que nous avons de la forme des objets.

Il est plus commode de regarder pseudoscopiquement un objet réel. Pour cela, on utilise deux prismes rectangles enfermés dans deux tubes, de manière que leurs hypothénuses soient parallèles à l'axe de ces tubes. Ceux-ci sont respectivement mobiles autour de leur axe et autour d'un axe perpendiculaire au plan de visée. On peut ainsi amener en coïncidence les images de l'objet.

Les objets dont on veut renverser le relief doivent être placés librement dans l'espace, de manière qu'il n'y ait pas d'ombres portées détruisant l'illusion. L'expérience réussit bien avec une éprouvette graduée, les divisions paraissent en arrière, si elles sont effectivement en avant. On peut aussi employer des fils verticaux placés à différentes distances de l'observateur.

On conçoit en effet qu'on puisse renverser le relief d'objets transparents : le plan le plus postérieur, aperçu à travers les plans plus rapprochés, va tout simplement devenir antérieur et vice-versa.

S'il est possible de renverser le relief des objets transparents dépourvu d'ombres portées, on en déduit immédiatement qu'il est possible de renverser le relief d'un couple stéréo-radiologique.

Les images radiologiques sont en effet celles de corps vus par transparence et sont dépourvues d'ombres portées. Une image radiologique est en effet une perspective conique obtenue par la superposition

des ombres plus ou moins transparentes des plans de l'objet à examiner.

Ainsi, pour prendre un exemple, à l'examen radioscopique du thorax en postéro-antérieure, nous voyons aussi bien les premiers plans projetés (région de la colonne dorsale) que les derniers (plastron sterno-costal).

Il n'est donc pas besoin de plus longues explications pour montrer que l'on se trouve dans les conditions de possibilité d'obtention du pseudo-relief, aussi bien en stéréoradioscopie qu'en stéréoradiographie : pas d'ombres portées, transparence de l'objet examiné.

Désormais, nous n'avons plus en vue dans ce travail que la pseudoscopie radiologique.

Intérêt de la pseudoscopie radiologique.

Nous pouvons chercher maintenant l'explication de l'assertion de Hasselwander.

Dans une image radioscopique, en effet, les plans les plus éloignés de l'écran sont ceux qui donnent l'image la moins nette.

Au contraire, c'est un fait d'expérience que les plans les plus rapprochés de l'écran donnent une image plus nette.

Mais si nous examinons l'image orthoscopique, nous voyons comme plus rapprochées de nous les parties de l'objet qui sont au contraire les plus éloignées de l'écran. Nous obtenons une image de qualité moindre. Au contraire, en pseudoscopie, ce sont les plans les plus rapprochés de l'écran que

nous voyons au premier plan, ce sont aussi les plus nets. Nous aurons donc un relief des premiers plans d'une qualité meilleure.

Lois physiologiques de la pseudoscopie.

Comme le dit Hasselwander, l'image pseudoscopique a, en radiologie, des avantages que n'a pas l'image orthoscopique.

A la pseudoscopie s'applique tout ce qui a été dit à propos de la stéréoscopie sur la latitude de reconstitution et sur la dissociation du relief et de la position absolue. Comme le dit Bouasse, notre œil est tolérant et nous aide en définitive à voir ce que nous voulons voir, des objets reconnaissables.

Supposons en effet un objet dont le plan antérieur a une abscisse négative. Algébriquement, la partie d'abscisse négative de la figure devrait donner par pseudoscopie simple une figure inutilisable par l'existence d'une discontinuité pour $x = 0$ (la partie négative de la figure passant derrière le plan des points de vue comme on le calculerait facilement).

En réalité, l'image pseudoscopique reste continue : notre œil a fusionné les lignes divergentes. Ceci revient, si l'on veut analyser le résultat de l'opération, à un rapprochement virtuel des perspectives que par sa divergence notre œil a effectué.

Nous avons vu que par rapprochement des perspectives, nous rapprochons les images pseudoscopiques et les mettons dans les régions de déformation minimum. Par cette opération, nous cherchons à nous placer dans les conditions d'observation les meil-

leures. C'est l'opération que nos yeux effectuent d'eux-mêmes. Non seulement notre œil est tolérant, tolérance dont la cause principale est l'ignorance de la forme exacte des objets, mais encore il s'efforce d'assembler les perspectives, de manière à nous restituer dans les meilleures conditions un objet reconnaissable.

CHAPITRE V

CONCLUSION

LES QUATRE IMAGES

Nous avons vu qu'un couple stéréoscopique pouvait nous donner une image orthoscopique et une image pseudoscopique.

Mais on peut encore retourner les couples et on obtient alors deux nouvelles images, l'image orthoscopique inverse, l'image pseudoscopique inverse.

L'image orthoscopique inverse, image de l'image orthoscopique dans un miroir, est obtenue en présentant la perspective droite retournée à l'œil gauche, et la perspective gauche retournée à l'œil droit.

L'image pseudoscopique inverse, image de l'image pseudoscopique dans un miroir, est obtenue en présentant la perspective droite retournée à l'œil droit et vice-versa.

Supposons un triangle ABC dans le plan du tableau. Choisissons un sens positif de rotation. On démontrera aisément que le sens de rotation de la figure est conservé dans l'image orthoscopique et dans l'image pseudoscopique inverse.

En quelque sorte, il existe un centre d'homothétie qui, la déformation mise à part, permet de passer de l'image orthoscopique à l'image pseudoscopique inverse.

APPLICATION A LA STEREORADIOSCOPIE

Dans la stéréoradioscopie, nous allons obtenir en quelque sorte (et du fait de notre position de l'autre côté de l'écran par rapport au tube) deux perspectives retournées.

On voit aussitôt que c'est, déformation mise à part, l'image pseudoscopique inverse qu'il faut prendre de préférence.

C'est elle qui fait correspondre le plus naturellement l'objet examiné à l'image obtenue.

DEUXIEME PARTIE

HISTORIQUE DE LA STEREORADIOSCOPIE

Introduction

Une image radioscopique ordinaire ne donnant qu'une ombre projetée est incapable de fournir des notions sur la situation respective des objets. On ne peut avoir aucune indication sur les dimensions en profondeur. Les autres dimensions sont altérées par la distance du tube et de l'objet à l'écran, ainsi que par l'incidence des rayons.

« Cette remarque suffit pour montrer tout l'intérêt de la radioscopie stéréoscopique » (Guilloz).

Aussi, depuis les débuts de la radiologie, différents auteurs se sont efforcés de mettre au point la radioscopie en relief. Mais, jusqu'à l'appareil de Bardon, les réalisations pratiques n'ont jamais justifié les espérances qu'on avait mises en elles.

Il est néanmoins intéressant d'étudier les remarquables recherches de ceux qui ont voulu réaliser la stéréoradioscopie. Nous verrons comment, peu à peu, par les progrès d'ordre technique, par l'ingéniosité des chercheurs, les problèmes d'appareillage

quasi-insurmontables du début ont pu être réalisés, sauf un. C'est à ce dernier problème, celui du viseur synchrone, que Bardon vient d'apporter une solution que l'on peut croire définitive.

Mais, auparavant, il n'est pas inutile d'étudier sommairement les principes directeurs des différentes méthodes stéréoscopiques. L'exposé qui suit en sera rendu plus compréhensible.

CHAPITRE PREMIER

NOTIONS DE STERÉORADIOSCOPIE

GENERALITES

Le principe de toutes les méthodes stéréoscopiques est contenu dans la proposition suivante.

Il faut que l'œil gauche ne voie que l'une des perspectives et que l'œil droit ne voie que l'autre ; ainsi l'on aura la sensation du relief.

D'une façon générale, pour obtenir la vision en relief des images radioscopiques, on peut employer trois méthodes :

- 1° Méthode des images séparées.
- 2° Méthode des réseaux.
- 3° Méthode des éclipses.

Les méthodes ont été classées non pas suivant leur importance ou leur date d'apparition, mais suivant leur complexité dans un ordre croissant.

Méthode des images séparées.

Cette méthode, qui est la plus simple en théorie, consiste simplement à éloigner de l'écran le sujet

et les ampoules pour que les images se forment côte à côte sur l'écran. Ces images seront examinées avec un stéréoscope.

On peut reprocher à cette méthode la position éloignée de l'écran que l'on doit faire prendre aux malades, et qui diminue évidemment la netteté des images (ou, au contraire, on est conduit à des écarts d'ampoule qui rendent le couple difficilement recevable par effet stéréoscopique exagéré).

Méthode des réseaux.

On emploie un réseau formé de bandes parallèles équidistantes, alternativement transparentes et opaques aux rayons X. L'image formée par l'ampoule de droite est constituée par une série de bandes dont l'ensemble constitue l'image droite. Le réseau est éloigné de l'écran de telle façon que la série des images droites alterne sur l'écran avec la série des images formées par l'ampoule de gauche et qui constituent l'image gauche.

L'observateur regarde l'ensemble à travers un second réseau placé en avant de l'écran, de façon à ne voir avec l'œil droit et à travers le réseau que les bandes qui forment l'image droite (par exemple) et avec l'œil gauche les bandes seules qui constituent l'image gauche.

Cette méthode n'a pas donné de résultats pratiques en stéréoscopie. Elle est actuellement abandonnée.

Méthode des éclipses

Pour obtenir le relief, il s'agit donc de présenter respectivement aux yeux des perspectives différentes, de telle sorte que chaque œil ne voie que celle qui lui convient.

On peut réaliser ces conditions avec un obturateur tournant. Cet obturateur sera construit de façon à découvrir successivement et un grand nombre de fois par seconde l'œil droit et l'œil gauche. Simultanément, on projettera la perspective qui correspond à l'œil droit ou à l'œil gauche. Les images ne sont plus permanentes comme dans les procédés précédents, mais cela n'a pas d'importance en raison de la persistance des impressions lumineuses.

On projettera donc alternativement une des images radioscopiques constituant le couple et on observera l'écran à travers un obturateur synchrone réglé de façon que la vision de l'une des perspectives corresponde l'une au temps de découverte de l'œil gauche, l'autre au temps de découverte de l'œil droit.

Cette méthode a été la plus employée et reste actuellement la seule employée.

CHAPITRE DEUXIEME

ETUDE HISTORIQUE

ECOLE FRANÇAISE

Si la stéréoradioscopie fut un peu moins rapidement réalisée que la radiographie en relief, ses origines sont cependant lointaines.

Presque immédiatement après la découverte des rayons X, Roulliès et Lacroix commencent à rechercher un dispositif permettant de juger du relief en radioscopie. Mais, leurs premiers essais sont loin d'être couronnés de succès ; c'est seulement au mois d'avril 1898, qu'après les expériences concluantes, ils prennent leur premier brevet.

Au mois d'octobre 1898, ils commencent à expérimenter dans le Laboratoire de Bergonié à Bordeaux. Et c'est en 1899, dans un article sur « un dispositif nouveau de radioscopie stéréoscopique » qu'ils font connaître les résultats de leurs expériences.

Ce sont dans le monde les premières recherches précises sur la question. Leur procédé, que nous étudierons, repose sur la méthode des éclipses. Et Ber-

gonié n'hésite pas à écrire : « J'estime que ce procédé et cet appareil très simples peuvent dès maintenant entrer dans la pratique médicale, surtout si les auteurs peuvent le simplifier ».

En 1900, apparaissent les noms de Villard et de Guilloz. L'étude de tous les procédés ramène aux méthodes qu'ils ont imaginées dès cette même année.

Villard, dans une série de recherches, s'efforce d'introduire l'emploi des courants alternatifs dans la stéréoradioscopie. Après une communication préliminaire où il fait entrevoir les possibilités d'une telle méthode, il décrit en 1901 un procédé de stéréoradioscopie par les courants alternatifs. L'année suivante, en 1902, il apporte deux solutions au problème des ampoules stéréoradioscopiques.

Après une première communication, en 1900, au Congrès de Radiologie, « sur un dispositif fluoroscopique stéréoscopique », Guilloz fait paraître une série d'études remarquables sur la stéréoradioscopie.

En 1902, il décrit trois méthodes de plus en plus simples au point de vue appareillage : deux tubes de bobines avec un viseur rotatif cylindrique ; une bobine et deux ampoules et un viseur à diaphragmes s'ouvrant alternativement ; une bobine et une ampoule symétrique. En même temps il étudie expérimentalement les conditions de l'examen stéréoradioscopique ainsi que les illusions possibles dans l'appréciation du relief.

En 1903, nouveau procédé : une ampoule oscillante ; la sensation de relief est alors obtenue par la vision consécutive d'images monoculaires.

Cherchant à faire encore plus simple, il étudie, en 1904, le moyen d'obtenir la radioscopie en relief sans sélecteur d'images par la méthode des réseaux. C'est enfin lui qui, en 1906, au Congrès de Milan, est rapporteur sur la question.

Estanave, en 1908, reprend pour son compte la méthode des réseaux, mais n'en obtient aucun résultat pratique.

Pendant la grande guerre, en 1915, Gibon recherche les procédés possibles de stéréoradioscopie, procédé d'images séparées et côte à côte sur l'écran, fusionnées par stéréoscope ; procédé à feuille métallique plissée rappelant la méthode des réseaux ; procédé à disque radio-opaque synchrone du trieur d'images.

Lièvre, en 1917, décrit un procédé de stéréoradioscopie avec deux ampoules alimentées alternativement par un commutateur tournant avec un sélecteur d'image synchrone et formé de deux disques tournant en sens inverse.

L'idée d'utiliser, pour les applications stéréoscopiques, deux tubes Coolidge montés en opposition, revient à Saleil. Celui-ci, du reste, dans un article de 1920 sur l'utilisation de tubes Coolidge à radiateur branchés en sens inverse, ne fait que mentionner cette possibilité.

Après une communication préliminaire en 1923, sur la stéréoradioscopie, Lambert, de Nancy, continuant les travaux de son prédécesseur et maître Guilloz, fait construire par Gaiffe, en 1925, deux appareils de stéréoradioscopie. Un de ses appareils est mis en expérience la même année dans le service du Docteur Bé-

lot, à l'Hôpital Saint-Louis. Mais les essais ne donnent pas les résultats attendus, probablement en raison des défauts de synchronisme de l'obturateur.

Ce n'est en effet qu'avec les progrès de la construction électrique, beaucoup plus tard, en 1939, la réalisation pratique d'un moteur rigoureusement synchrone permettant à Bardou de réaliser un appareil fonctionnant de façon convenable.

L'ECOLE ALLEMANDE

C'est au Congrès de la Société de Physique Allemande qu'en 1900 Boas présente la première communication en cette langue sur la stéréoradioscopie.

L'année suivante, en 1901, trois constructeurs d'Erlangen : Reiniger, Gebbert et Schall, décrivent « un dispositif nouveau pour la radioscopie stéréoscopique ». Ils emploient un tube stéréoscopique et un dispositif mécanique synchrone de répartition du courant et de sélection des images.

Le tube stéréoscopique est formé, en quelque sorte, de la fusion de deux ampoules par leur cathode. Au milieu du tube, en effet, est située une tige axiale supportant deux cathodes opposées. A chaque extrémité du tube se trouve une autre cathode. Un moteur électrique entraîne de façon synchrone un obturateur pour le système optique, et un répartiteur qui fait passer alternativement le courant dans chacun des deux circuits cathode-anticathode.

En 1917, Regener décrit « un appareil simple pour la radioscopie stéréoscopique ». C'est à peu de chose près le dispositif précédent ; même transmission mé-

canique du mouvement au distributeur et à l'obturateur synchrone, avec toutefois cette différence que c'est ici l'interrupteur rotatif qui entraîne l'ensemble du dispositif.

Le tube est toujours, un tube à gaz, mais ici l'ampoule a deux cathodes et c'est l'anticathode qui est double. En outre, on regarde à travers l'obturateur dans une glace. On obtient donc une vision orthomorphique de l'objet : celle que l'on aurait en se mettant à place du tube.

Druner, en 1918, dans un article sur divers sujets, décrit à propos de la stéréoradioscopie un procédé consistant à obtenir par deux ampoules convenablement éloignées un couple stéréoscopique séparé sur l'écran radioscopique. Pour fusionner les images il utilise un système de prismes.

Ce procédé est repris en 1923 et perfectionné par Stumpf. Il a l'avantage des procédés statiques de ne pas nécessiter d'obturateur synchrone et de permettre l'emploi d'écrans quelconques sans avoir à se préoccuper de leur rémanence.

En 1927, Gartenmeister décrit un appareil de stéréoradioscopie qui est la combinaison de l'appareil de Reiniger et de celui de Regener.

La même année, au Congrès de Radiologie, Gebbert décrit le premier dispositif vraiment moderne : deux tubes Coolidge branchés en sens inverse sur un transformateur à haute tension. A cet appareil est joint un dispositif d'observation formé de deux obturateurs rotatifs mis en mouvement par deux petits moteurs synchrones et démasquant alternativement

les yeux de l'opérateur. Le dispositif est monté sur une sorte de support de miroir frontal.

ECOLES AMERICAINE, ANGLAISE, HOLLANDAISE ITALIENNE ET RUSSE

Aux Etats-Unis, deux brevets pour des procédés de stéréoradioscopie sont pris : l'un en 1900 par un Anglais, Sir J. J. Mackensie-Davidson ; l'autre en 1915, par Snook et Kelley.

Mais ce n'est que peu avant la grande guerre que de patientes et longues recherches furent entreprises par Caldwell ; il doit d'ailleurs attendre la découverte et la mise en pratique du tube Coolidge pour arriver à des résultats satisfaisants. C'est seulement en 1918 que Middleditch fait connaître les résultats du stéréoradioscope de Caldwell.

Heck et Morgan, en 1920 et 1922, font à leur tour connaître leurs résultats personnels obtenus par la même méthode.

En Angleterre, Pirie, en 1911, décrit le premier dispositif anglais de stéréoradioscopie. Un tel dispositif fonctionne dans un hôpital de Londres pendant la grande guerre pour la recherche et l'extraction des projectiles.

Tyndall, en 1921, fait connaître le résultat des recherches qu'il effectue avec un dispositif nouveau qui emploie deux ampoules Coolidge.

Sous le titre : « Les derniers développements de la stéréoradioscopie », Humphris écrit, en 1928, dans *Lancet*, un article plein d'intérêt sur l'utilisation possible de la stéréoradioscopie.

A noter enfin l'article de Dumond sur la technique de la stéréoradioscopie paru en 1932.

En même temps que Tyndall, en Angleterre, en 1921, en Hollande, Van Ebbenhorst Tengbergen construit un appareil identique dans son principe à celui de Tyndall.

En Italie, deux articles sur la stéréoradioscopie, l'un d'Alessandrini, en 1916, l'autre de Trabacchi, en 1917. Mais ce n'est qu'en 1933 que des recherches sont entreprises et poursuivies par Segre ; il s'agit bien entendu d'un dispositif comprenant deux ampoules Coolidge branchées tête-bêche sur un transformateur à haute tension et d'un sélecteur d'images entraîné par un moteur synchrone mis en phase avec le courant d'alimentation des ampoules.

Il nous reste pour terminer à citer l'unique publication russe parue sur la question en 1913 : celle de Stepanow. Cette communication n'est cependant pas la moins intéressante. Son auteur y décrit en effet un appareil de stéréoradioscopie alimenté par un transformateur à haut voltage utilisant, par un système de valves, une alternance pour chaque ampoule ; avec un dispositif optique comprenant un obturateur synchrone.

CHAPITRE TROISIEME

LES METHODES FRANÇAISES METHODE DE ROUILLIES ET LACROIX

Principe de la méthode.

Soit contre un écran radioscopique un objet éclairé par deux ampoules de Crookes distantes de 20 à positif nous aurons sur l'écran deux perspectives différentes de l'objet. La première distance est à peu près celle du punctum proximum d'un œil normal ; quant à la seconde, elle se rapproche de l'écart des deux yeux. Si nous arrivons à attribuer à chaque œil l'image correspondante, nous verrons le relief de l'objet.

Mais ces images sont mélangées et superposées sur l'écran, il faut donc trier cette double image. « Après bien des tâtonnements et des résultats d'abord nuls », ils emploient un obturateur semi-lunaire tournant à grande vitesse. De cet obturateur est solidaire une bielle légère qui fait osciller un fléau. Ce fléau commande lui-même un interrupteur double.

Résultats.

Ce dispositif une fois bien établi est monté en octobre 1898 dans le Laboratoire de Bergonié ; il y fonctionne d'une manière très satisfaisante. Et bien que les bobines employées aient une puissance relativement faible (10 cm. d'étincelle) on a très nettement la sensation du relief.

Cet appareil est le premier qui ait existé dans le monde, mais ce n'est qu'un prototype qui permet seulement de voir l'image en relief d'une spirale métallique.

« La méthode présente un double inconvénient :

« 1° Le matériel est très compliqué : il exige, en dehors de l'appareil à éclipse, deux bobines et deux ampoules à rayons X ;

« 2° Le procédé n'est applicable qu'à de faibles épaisseur du corps humain, en particulier à la main ». (Bouchard).

METHODE DE VILLARD

Préliminaires : Les courants alternatifs et la radiographie (1900).

C'est la description d'un dispositif permettant d'utiliser un courant alternatif pour alimenter les tubes de Crookes. Tout d'abord un système permettant d'employer un seul tube : l'onde inverse est absorbée par une soupape. Mais Villard fait remarquer que son dispositif permet d'illuminer alternativement deux tubes de Crookes : « Solution nouvelle, écrit-il, de la radioscopie stéréoscopique ». Il suffit en effet que ces

tubes soient placés devant l'écran fluorescent et que l'on regarde cet écran au travers de deux ouvertures situées devant les yeux de l'opérateur et démasquées alternativement par un dispositif synchrone.

La stéréoscopie par les courants alternatifs (1901).

C'est la description d'un dispositif permettant d'illuminer alternativement deux tubes de Crookes :

« On emploie quatre soupapes et deux tubes de Crookes. Les tubes fonctionnent ainsi chacun sur une alternance et illuminent alternativement l'écran. Contre cet écran on place le sujet à examiner. Pour avoir la vision stéréoscopique il suffit de regarder l'écran au travers d'un appareil synchrone démasquant alternativement les deux yeux de l'opérateur.

« Un minuscule moteur synchrone hexapolaire entraîne à la vitesse de $1/3$ de tour par période un disque portant trois ouvertures équidistantes. Ce disque est placé avec le moteur dans une boîte légère munie de deux œilletons. Ces œilletons sont à une distance angulaire de $1/6$ de tour (une demi-période) et sont naturellement séparés par la distance des yeux, ce qui fixe les dimensions de l'appareil. Le tout est muni d'une poignée que tient l'opérateur...

« ...La mise en route s'effectue à la main...

« ...Le dispositif est complété par une pièce permettant de décaler de $1/6$ de tour l'inducteur afin de régler très exactement la phase...

« ...La durée de fluorescence du platino-cyanure est assez courte pour n'être visible qu'au travers de l'œil-

leton démasqué pendant la décharge correspondante...

« ...Pour inverser le rôle des yeux on emploie un commutateur placé sur le primaire du transformateur. »

Pour régler l'appareil, « on dispose les tubes près d'un écran fluorescent de manière à bien distinguer l'illumination produite par chacun d'eux. On règle ensuite une fois pour toutes la phase de l'oculaire de manière à ne voir avec chaque œil que l'illumination produite par un seul tube et à la voir le mieux possible ».

L'ampoule stéréoradioscopique (1902).

Ce sont deux solutions du problème de l'ampoule stéréoradioscopique :

* « 1° L'ampoule stéréoradioscopique est une ampoule construite comme à l'ordinaire, sauf que l'anticathode présente une assez grande longueur dans la direction perpendiculaire au plan de symétrie de l'ampoule... Un petit électro-aimant alternatif placé au voisinage, dévie les faisceaux cathodiques alternativement du plan de symétrie et détermine ainsi sur l'anticathode deux foyers de rayons X. La vision se fait au moyen d'un stroboscope synchrone. Ce dispositif assure l'égalité constante des deux foyers d'émissions et permet d'en faire varier l'écartement dans la mesure nécessaire. On peut également, sur le même principe, constituer l'anticathode par deux lames en échelon. Une déviation très faible des faisceaux suffit pour que les foyers alternants se forment chacun sur un échelon.

« 2° On peut encore employer une ampoule munie de deux cathodes opposées entre lesquelles est une anticathode double sur laquelle se forment les deux foyers alternants. On peut rapprocher ou écarter légèrement ceux-ci au moyen de deux "demi-bagues aimantées placées devant les cathodes.

« Cette disposition est toutefois insuffisante, l'anticathode n'étant pas anode noircit l'ampoule et la production des rayons est médiocre. On y remédie par l'addition d'une électrode supplémentaire que l'on relie au pôle négatif d'une source électrique auxiliaire, le pôle positif étant réuni à l'anticathode. Dans ces conditions, les deux sources électriques se mettent elles-mêmes en série. La production de rayons augmente notablement et le noircissant est évité. »

METHODE DE GUILLOZ

Les méthodes propres à réaliser la stéréoradioscopie (1902).

Guilloz dans une première série de recherches s'efforce de réduire au maximum « la complexité trop grande du matériel employé ».

1° Il emploie d'abord deux tubes et deux bobines dont les interrupteurs rotatifs sont décalés de telle façon que la décharge des bobines ait lieu alternativement. Sur le même axe que les interrupteurs est monté le trieur d'images. C'est un cylindre creux déprimé en son milieu pour placer le nez et dont les parois présentent de chaque côté trois fentes tracées suivant les 6 génératrices équidistantes (les vides

égalant les pleins). Les fentes de l'œil droit sont décalées de 180° par rapport à celles de l'œil gauche. On vérifie que chaque œil ne voit qu'une image et on règle la plongée de chaque interrupteur pour que les images soient d'égale intensité.

2° Le deuxième dispositif comporte l'emploi d'une bobine et de deux ampoules. Les pôles de l'induit de la bobine sont reliés : l'un au même pôle des tubes, l'autre à un bras métallique fixé à l'extrémité d'un long axe isolé. Ce bras tourne en regard de deux segments métalliques de forme hémianulaire opposés, séparés par un intervalle et reliés respectivement aux pôles libres des deux ampoules. Ainsi pendant la rotation le courant de la bobine passe successivement par l'une et l'autre ampoule. Sur l'extrémité libre de l'axe on monte avec un décalage convenable par rapport au bras métallique un petit commutateur de courant actionnant le trieur d'images. Celui-ci est formé de deux électro-aimants commandant deux petits diaphragmes qui s'ouvrent alternativement devant les yeux de l'observateur.

3° Mais le plus simple est évidemment d'employer un seul tube et une seule bobine. Guilloz a donc cherché à réaliser un tube dont les électrodes puissent alternativement fonctionner comme cathode et anticathode. Ce nouveau dispositif comporte une ampoule symétrique dont les deux électrodes formées de deux disques plans de chrome sont placées en regard l'une de l'autre à la distance interpupillaire moyenne. Le tube ne noircit pas à l'usage et fonctionne de façon satisfaisante quand il est puissam-

ment alimenté. Pour effectuer avec cette ampoule la radioscopie stéréoscopique en courant continu on monte sur l'inducteur de la bobine un commutateur inverseur tournant sur le même axe que le commutateur qui actionne le trieur d'images.

Procédé de radioscopie stéréoscopique à ampoule mobile (1903).

Mais, que l'on opère avec deux tubes ou avec un tube à double anticathode, il est toujours difficile de les régler à égale intensité (n'oublions pas qu'il s'agit de tubes à gaz). Leurs inégalités prédisposent aux illusions de relief. L'emploi d'un tube symétrique donne des images moins nettes et ne permet pas d'obtenir un fonctionnement tout à fait régulier.

Une grande difficulté est donc supprimée si l'on déplace le tube au lieu d'utiliser deux sources de rayons X.

Guilloz établit alors expérimentalement que la sensation de relief se crée facilement par la vision successive des deux yeux avec une alternance très lente. Pour le montrer il emploie le dispositif suivant : on fait tourner devant un stéréoscope ordinaire un disque présentant deux secteurs vides. Les vides passent alternativement devant les verres du stéréoscope de telle sorte que les visions ne peuvent se faire au même moment que par un seul œil. On trouve alors que la sensation parfaite de relief est obtenue avec une vitesse de rotation du disque qui, suivant les observateurs et les conditions d'observation, ne dépasse pas 5 tours par seconde, est en moyenne de 3 et peut

même être abaissée à 1. Cette expérience montre donc que la radioscopie stéréoscopique est pratiquement réalisable en déplaçant le tube à rayons X.

Le dispositif est alors le suivant : l'ampoule est montée sur un support mobile autour d'un axe. Entre l'axe et l'autre extrémité du support (où se trouve l'ampoule) est placé un galet qui se déplace dans la gorge d'une poulie. La gorge est formée de deux sillons parallèles occupant chacun environ une demi-circonférence de la poulie. Leurs plans parallèles sont distants de 1 cm. et raccordés par un chemin sans courbure brusque. La longueur de ces raccords n'occupe qu'environ le $\frac{1}{10}$ de la circonférence. Lorsque la poulie tourne, le tube est déplacé alternativement à gauche et à droite. La grandeur du déplacement dépend évidemment de la longueur donnée au support. Le $\frac{1}{10}$ du temps de rotation est employé à ce déplacement, le tube occupe pendant les 0.45 de la rotation, la position gauche et pendant le même temps.

D'après Guilloz, les tubes résistent bien à ces brusques déplacements. Un dispositif mécanique d'ailleurs amortit les oscillations quand le tube arrive aux positions extrêmes. Le trieur d'images dans ce dispositif est l'appareil à diaphragme oscillant commandés par électro-aimants.

La radioscopie stéréoscopique sans stéréoscope par la méthode des réseaux (1904).

Le principe de la méthode est très simple : supposons que devant un écran se trouve un réseau ou un

gril formé d'une série de barres opaques et parallèles. Ces barres sont séparées les unes des autres par des intervalles égaux à leur diamètre.

Devant le gril plaçons un objet. Prenons deux petites sources lumineuses punctiformes dont la distance est égale à celle des yeux. Plaçons-les où seraient normalement les yeux de l'observateur. Chacune de ces sources donnera sur l'écran une ombre projetée de l'objet.

Inversement si l'on considère les ombres de l'écran, chacune d'entre elles peut être considérée comme la perspective de l'objet en vision directe (en remplaçant les deux sources lumineuses par les yeux de l'observateur).

A ce moment, si l'observateur voit simultanément et respectivement chacune des perspectives, il aura la sensation du relief de l'objet. La seule condition à remplir consiste donc à ne pas mélanger les perspectives de façon que chaque œil ne puisse voir que celle qui lui correspond.

Il suffit pour cela que le réseau employé à produire ces perspectives soit placé de façon convenable par rapport à l'écran. Il faut que les rayons lumineux issus de l'une des sources et portant ombre de l'objet frappent l'écran dans des régions qui correspondent à l'ombre que donne l'autre source des fils du réseau.

Ces images sont incomplètes. Elles sont respectivement formées d'une série de traits régulièrement espacés et ayant un intervalle égal ou un peu supérieur au diamètre des barres du réseau.

Ces deux images sont aussi formées de hachures enchevêtrées sur l'écran ; mais pour les séparer il suffit, le réseau restant en place, que les yeux occupent la place des sources.

On a d'ailleurs :

$$\frac{D}{x} = \frac{E}{e}$$

D=distance d'observation ; E=écartement des yeux.
e=intervalle du réseau ; x=distance de la plaque au réseau.

Pour obtenir un pareil réseau on peut enrouler, à spires jointives sur une mince planchette de bois, un fil de cuivre isolé (le diamètre total du fil étant un peu inférieur au double du diamètre du fil métallique). Le cadre recouvert, on fixe les fils sur les bords et on coupe ceux qui recouvrent l'une des faces, on a ainsi un réseau pour rayons X dans lequel les vides sont représentés par l'isolant transparent aux rayons et les traits par des fils qui sont opaques. Le réseau qui sert à observer est le positif d'une téléradiographie du réseau métallique.

METHODE D'ESTANAVE

L'écran stéréoradioscope (1908).

Sous ce nom, Estanave décrit une méthode de stéréoradioscopie identique dans son principe à la méthode des réseaux de Guilloz.

L'appareil est constitué par un écran fluorescent placé entre deux réseaux. Le réseau situé du côté de l'ampoule est un réseau métallique, celui du côté de

L'observateur est le positif d'une téléradiographie du précédent. L'ensemble forme l'écran stéréoradioscope.

On emploie habituellement deux ampoules, mais on peut comme l'a indiqué Guilloz pour une autre méthode, se servir d'une seule ampoule qui bascule de façon à prendre deux positions distinctes.

Si l'on place entre l'écran et les tubes le corps à examiner, on percevra en vision binoculaire une image radioscopique unique pourvue de relief.

Mais si l'expérience réussit parfaitement avec des sources lumineuses, il n'en est pas tout à fait de même avec des ampoules à rayons X.

« On s'aperçoit rapidement que la luminosité de l'écran laisse beaucoup à désirer et que l'on devine les ombres plutôt qu'on ne les perçoit. Mais le principe est posé et dès que l'on pourra augmenter la luminosité des écrans, la question sera pratiquement résolue ».

Néanmoins la méthode des réseaux a été complètement abandonnée.

METHODES DE GIBON

Procédés de stéréoradioscopie (1915).

Pour l'extraction des éclats métalliques, le plus utile, écrit Gibon, serait la radioscopie stéréoscopique qui n'a jamais été pratiquée, le procédé des réseaux ayant été à peine essayé aussi bien en photographie qu'en radioscopie ».

1° Deux ampoules ou une ampoule à deux anti-

cathodes. Un diaphragme ayant une fenêtre de largeur variable. Les rayons X viennent former deux images séparées sur l'écran. Les images forment évidemment un couple stéréoradioscopique qu'on regarde dans un stéréoscope.

Avec le diaphragme réglable on juxtapose sur l'écran les deux images de la partie intéressante. La largeur maximum du diaphragme métallique est toujours inférieure à l'écartement des deux anticathodes et proportionnelle à sa distance à l'écran.

2° Deux ampoules ou une ampoule à deux anticathodes. Une feuille métallique plissée est située derrière l'écran, les deux sources de rayons X sont orientées de telle façon que les rayons de l'une soient sensiblement perpendiculaire à la direction d'une moitié des plis et prennent en enfilade l'autre moitié des plis. L'inverse exactement doit se passer pour l'autre source.

On a donc sur l'écran un couple stéréoscopique formé de bandes alternées qu'on regarde avec un stéréoscope de Cases.

3° Pour voir directement le relief sur l'écran, Gibon décrit enfin un procédé avec obturateur opaque aux rayons X pour les ampoules, synchrone d'un trieur d'images.

Il pense à la possibilité des procédés suivants :

- 1° Disques ajourés synchrones tournants.
- 2° Balancements de secteurs opaques.
- 3° Obturateurs synchronisés par flexibles.
- 4° Obturateurs synchronisés par commandes électriques.

METHODE DE LIEVRE (1917)

On se sert indifféremment de deux ampoules ordinaires ou d'une ampoule à double anticathode. Les deux anticathodes sont actionnées alternativement par un commutateur tournant. On a alors sur l'écran une double image. Cette image est décomposée par un sélecteur formé de deux disques tournant en sens inverse dont les pleins et les ajouements correspondent aux périodes d'ouverture et de fermeture sur l'anticathode correspondante. Le synchronisme est obtenu de façon parfaite grâce à un dispositif spécial.

L'appareil est léger, peu encombrant, s'adapte sur n'importe quelle installation fixe ou mobile, fonctionnant sur le continu ou l'alternatif.

Il permet l'examen en position verticale ou horizontale.

PROCEDE DE LAMBERT (1925)

Recherches préliminaires.

Reprenant à Nancy les travaux de Guilloz, sur la stéréoradioscopie, Lambert se préoccupe tout d'abord de vérifier expérimentalement les meilleures conditions géométrique et physiologique pour obtenir une sensation de relief correcte et identique à celle de l'objet réel. Il est alors amené à utiliser deux disques stéréoscopiques synchrones : l'un opaque aux rayons X, l'autre opaque à la lumière.

Contrairement à l'opinion des auteurs de langue allemande, il trouve avantage à substituer à leur liai-

son mécanique l'entraînement par deux moteurs synchrones. Ces moteurs doivent avoir un dispositif permettant l'occlusion périodique d'un des yeux simultanément à l'une ou l'autre des deux sources.

Une telle méthode peut s'appliquer aux dispositifs utilisant la bobine d'induction à condition de supprimer les battements optiques par la synchronisation rigoureuse des interrupteurs électriques et des occultations des disques stroboscopiques.

Elle est applicable immédiatement aux appareillages à contact tournant redressant le courant alternatif à haute tension d'un transformateur.

Mais sa réalisation la plus simple est le montage en opposition de deux tubes Coolidge à radiateur utilisant les deux alternances, ce qui conduit à la suppression du disque radio-opaque.

Et, sur les données de Lambert, Gaiffe construit en 1925 deux appareils de stéréoscopie dont l'un est mis en essai la même année dans le Service du Docteur Belot, à l'Hôpital Saint-Louis à Paris.

L'appareil de Lambert.

Cet appareil fonctionnant sur courant alternatif, se compose de deux ampoules Coolidge à radiateur (du type Baby-Coolidge) montées en opposition.

Les deux focus sont distants d'environ 11 cm.

Grâce à un système de bras articulés, il existe toujours la même distance entre les ampoules et l'écran qu'entre l'écran et le système d'observation.

« Ce dispositif était constitué, nous a dit le Docteur Bardy de Clermont-Ferrand, par une plaque mé-

tallique percée de deux trous à la distance interpupillaire. Un disque métallique percé d'une seule ouverture obturait alternativement chacun des deux yeux. Ce disque était entraîné par un moteur synchrone à lancement manuel (ce qui n'était pas toujours très commode). Un dispositif analogue à celui de la mise en phase des contacts tournants permettait d'accrocher les moteurs, soit sur une phase, soit sur l'autre, ce qui permettait soit la vision directe, soit la vision pseudoscopique.

Les déplacements de l'ensemble n'avaient lieu que dans le sens vertical. On ne pouvait examiner qu'un sujet debout ou assis.

Résultats des essais.

Les résultats des essais de l'appareil sont consignés dans la très intéressante thèse de Talon :

« L'examen du système osseux a montré ce dernier avec tout le relief désirable. Bien que jusqu'à présent l'intensité ait été insuffisante, même les parties profondes du squelette sont apparues avec un relief net.

L'examen des champs pulmonaires, au contraire, a donné des résultats peu favorables. Des ombres anormales, des ganglions calcifiés ne sont pas apparus avec la netteté ni le relief que l'on avait espéré. Dans l'état actuel de l'appareillage il semble difficile de bien situer des lésions disséminées dans les poumons.

L'examen de la région cardiaque a fourni pour sa part des résultats satisfaisants ».

On ne voit cependant pas le cœur avec son véri-

table relief. Le relief n'apparaît en effet que sur les bords, mais cela suffit pour donner la sensation d'un organe arrondi. Les différents segments du tube digestif apparaissent nettement dans leur plan respectif, mais on ne peut en voir le modelé.

Enfin, la situation d'un corps étranger opaque aux rayons X apparaît avec une grande netteté.

« Au point de vue pratique, nous a dit le Docteur Bardy, et après une bonne période d'accommodation, il était possible de percevoir le relief d'un poignet, d'un coude, ou d'un genou, mais il ne fallait pas compter sur l'exploration d'un thorax, ni à plus forte raison d'un abdomen. L'examen le plus saisissant était celui des mouvements de pronation et de supination de l'avant-bras ».

CHAPITRE IV

CONCLUSIONS DE L'HISTORIQUE

ESSAI DE SYNTHESE DES DIFFICULTES

« Dès les premiers temps de l'emploi des rayons X, on a vu l'intérêt d'une image en relief par rapport à une silhouette plane, écrivait Humphris dans *Lancet* en 1928. Les progrès ont été difficiles et on a méconnu les lois de la stéréoradioscopie.

Les premières difficultés sont venues des tubes dont la place rendait impossible une stéréoradioscopie correcte. Encombrant, mal réglable, le tube à gaz était inutilisable. Caldwell, parmi tant d'autres, fit des essais infructueux jusqu'au tube Coolidge. Il était cependant arrivé à construire un appareil à peu près utilisable (le premier en Amérique), mais lorsque ces ampoules étaient assez larges pour marcher convenablement, l'écart des focus était trop grand, et si les ampoules étaient assez étroites, elles devenaient trop faibles pour l'intensité nécessaire. L'avènement de la cathode incandescente a rendu des progrès possibles qui ont été encore améliorés par la découverte d'écrans sans phosphorescence gênante. »

De son côté, dans une communication à l'Académie des Sciences, le Professeur Lambert écrivait notamment :

« Malgré les nombreuses recherches qu'elle a suscitées, il n'existe pas d'appareillage permettant la diffusion de la stéréoradioscopie pour la pratique courante.

La plupart des solutions proposées utilisent la méthode à éclipse, mais la synchronisation entre le fonctionnement alternatif des deux foyers d'émission de rayons X et des obturateurs oculaires s'obtient malaisément.

Sa réalisation la plus simple qui est le montage en opposition de deux tubes Coolidge à radiateur, ramène à la méthode imaginée dès 1901 par Villard, puis reprise plus récemment par Caldwell. »

Outre, la facilité d'égaliser les intensités et la possibilité de montage direct sur alternatif, le tube Coolidge à radiateur offre d'après Lambert « l'avantage de produire le minimum de déformation du relief en raison de ses petites dimensions ».

INTERET DE LA STEREO-RADIOSCOPIE

« Le radiologiste ne doit pas se contenter d'une ombre plane spécialement dans le poumon, écrivait encore Humphris, dans l'article précité. Or, au point de vue pulmonaire, la stéréoradiographie donne des résultats insuffisants. Il y a un intervalle de temps entre les deux poses et des déplacements risquent d'avoir lieu à ce moment-là. Quant à la radiographie, elle

ne donne l'image plane que d'une position du poumon. On voit l'intérêt de la vision stéréoradioscopique de cet organe qui est un des plus mobiles. Par exemple, dans le cas d'un pneumothorax apparaissant guéri; il est intéressant de voir les adhérences, leur position, ainsi que la mobilité pulmonaire.

On pourra trouver d'autres indications dans l'étude du transit gastro-intestinal.

C'est l'intérêt des résultats escomptés qui a poussé savants et ingénieurs à rechercher des solutions toujours plus pratiques du problème de la stéréoradioscopie. »

TROISIEME PARTIE

STEREORADIOSCOPIE EN CAMPAGNE

SES RESULTATS

Nous avons vu que le principe de la stéréoradioscopie est celui de la stéréoscopie ordinaire : obtenir deux vues perspectives différentes d'un objet à examiner dans des conditions correspondant le plus possible à celles de la vision normale ; puis, à l'aide d'un dispositif optique, faire correspondre à chaque œil une des vues perspectives. Le fusionnement des impressions rétiniennes donnera la sensation du relief.

Si à l'œil droit correspond la vue droite, c'est l'*orthostéréoscopie* et l'on restitue le relief qui serait perçu à partir des points de vue. Si à l'œil droit correspond la vue gauche, c'est la *pseudostéréoscopie* et le relief se trouve inversé : on a la même impression que si l'on observait l'objet dans une position symétrique des points de vue par rapport à l'objet.

En radiographie comme en radioscopie, il est avantageux de rechercher une vision pseudostéréoscopique. En effet, tout se passe comme si l'observateur fusionnait des images orthoscopiques prises de sa position même, c'est-à-dire face au malade, ce qui

est la position d'examen normale. En orthoscopie, au contraire, l'observateur aurait l'impression du relief qu'il obtiendrait en faisant sa visée de la position même des ampoules.

Le problème comporte deux éléments essentiels :

1° Obtenir sur l'écran deux projections de l'objet telles qu'elles constituent un couple stéréoscopique admissible.

2° Réserver à chacun des yeux de l'observateur la vision exclusive de l'image qui lui est destinée.

Une première solution consisterait à examiner simultanément chacune des images avec l'œil correspondant. Mais cette juxtaposition des images s'accorde mal avec les dimensions des champs radioscopiques habituels ; d'ailleurs elle exigerait de très grandes bases stéréoscopiques qui rendraient le couple difficilement recevable par effet stéréoscopique exagéré.

On doit donc projeter alternativement chaque élément du couple et observer l'écran alternativement avec l'un et l'autre œil.

DU STEREORADIOSCOPE DU DOCTEUR BARDON

Avant cette guerre, le docteur Bardon, de Montceau-les-Mines, réalise de toutes pièces le prototype de son appareil, qui comprend d'une part deux ampoules Coolidge en dérivation l'une sur l'autre et branchées tête-bêche aux bornes du transformateur H.T. (ces ampoules étant simplement disposées sur un berceau rudimentaire à même le sol), d'autre part un dispositif à barillet entraîné par un moteur synchrone et destiné à sélectionner les images.

Les résultats se montrent assez peu satisfaisants en raison des battements apportés par un synchro-

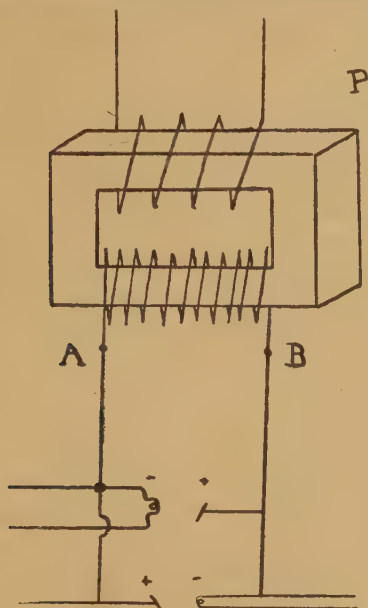


Fig. 10

nisme imparfait. Le docteur Bardon fait alors construire par les Etablissements St-Chamond-Granat un sélecteur rigoureusement synchrone, alimenté en triphasé.

Dès lors les essais les plus concluants ont lieu à Montceau-les-Mines : un relief saisissant est obtenu sans le moindre battement et avec une luminosité très satisfaisante. Ces essais sont suivis par le professeur agrégé Willemin, qui souligne tout le parti qu'on doit tirer de cette mise au point pour l'extraction rapide des projectiles sous écran. Un appareil simple, maniable et facilement transportable est

réalisé par la Maison Massiot, appareillage prototype que le docteur Willemmin utilisera dans une ambulance chirurgicale légère du front de Lorraine à partir de mai 1940.

L'appareil comprend essentiellement la cuve génératrice de rayons et le viseur synchrone, entre lesquelles se trouve le blessé, placé sur une table radio-chirurgicale du type normal des formations sanitaires de l'Armée.

La cuve génératrice de rayons est un bac rempli d'huile, hermétiquement clos et contenant un générateur à deux ampoules, c'est-à-dire un transformateur survolteur, des transformateurs dévolteurs de chauffage et deux tubes Coolidge. Ceux-ci dessinent une dérivation sur le circuit H.T. et sont inversés.

Les tubes type Coolidge sont auto-sélecteurs, du moins aux intensités suffisamment faibles pour que l'anticathode ne rougisse pas. Donc, au cours de chaque période, chaque ampoule est excitée, l'une pendant la première alternance, l'autre pendant la deuxième alternance. Ainsi, sur l'écran radioscopique (et pour une fréquence de 50 du courant alternatif d'alimentation), nous obtiendrons pendant chaque seconde 50 images droites et 50 images gauches, soit 100 images intriquées d'une durée inférieure au centième de seconde.

Du générateur, par deux orifices d'ouverture et d'écartement convenables, sortent deux faisceaux convergents vers un point situé à environ 0 m. 60 du plan des foyers.

La partie réceptrice de l'appareil comporte un viseur binoculaire derrière lequel passent, en synchronisme avec le courant d'alimentation des ampoules, deux diaphragmes rotatifs creusés dans un tube, mû par un petit moteur synchrone.

Sous le viseur et à bonne distance, un écran radioscopique protégé dans une bonnette et doublé d'une glace au plomb, recueille l'image du couple stéréoscopique.

Cet ensemble viseur synchrone-bonnette est supporté par une pièce du châssis en col de cygne, et peut être légèrement approché ou éloigné du blessé par un chemin à crémaillère.

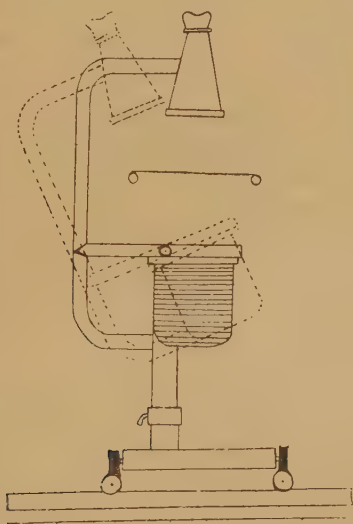


Fig. 11

Les qualités à exiger du viseur sont les suivantes :

— Synchronisme parfait ;

- Haut rendement lumineux ;
- Absence de vibrations et de bruit ;
- Encombrement et poids réduits.

C'est pourquoi les solutions de guichets à guillotine et de disques tournants ont été éliminées et celle du barillet fenêtré retenue.

Un carter cylindrique fixe porte deux fenêtres-œilletons sur sa génératrice supérieure. Une large fenêtre est ménagée sur toute la longueur de la génératrice inférieure.

Ce carter contient un barillet concentrique comportant deux fenêtres diamétralement opposées en face de l'œilleton droit, et deux fenêtres diamétralement opposées, elles aussi, en face de l'œilleton gauche, mais décalées de 90° par rapport à celles de droite.

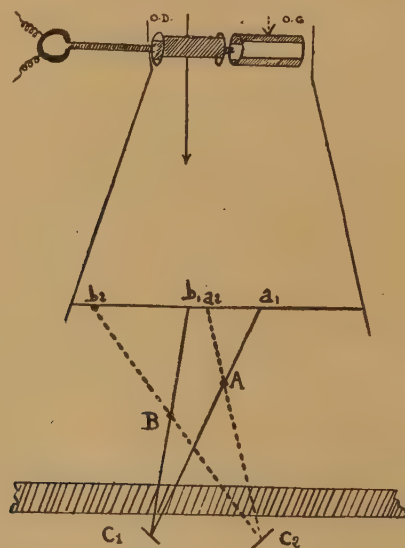


Fig. 12

Il résulte de cette disposition qu'au cours de la rotation du barillet, chaque œil est démasqué deux fois par tour. Le barillet doit donc tourner à la moitié de la fréquence du courant d'alimentation, soit 25 tours/seconde (c'est-à-dire 1.500 tours/minute) pour un secteur à 50 périodes.

La mise en phase exacte du viseur avec l'émission des ampoules est faite une fois pour toutes : elle s'obtient par le décalage progressif en marche du stator du moteur.

La vitesse angulaire de ce moteur à très faible puissance est parfaitement uniforme, sans glissement ni oscillations autour de sa position de synchronisme. Suivant la phase d'accrochage du moteur, qu'on détermine très aisément à l'aide d'un bouton molleté à repère, on passe instantanément de l'orthoscopie à la pseudoscopie.

Le viseur mis en expérience pendant la guerre était muni d'un moteur triphasé. L'appareil était donc tributaire du réseau, alors qu'il devenait inutilisable en cas d'alimentation par le groupe électrogène autonome des formations chirurgicales avancées. Un viseur monophasé a été mis au point depuis.

Le bloc moteur-viseur d'une part, la cuve double ampoule d'autre part, sont très peu encombrants et de poids réduit. Ils sont reliés par un bras en U évasé et montés sur un support permettant de donner à l'ensemble toutes les positions désirables par rapport à la table radio-chirurgicale (rotation, bascule, déplacement longitudinal et transversal sur chemins de roulement).

LES PREMIERS ESSAIS EN CAMPAGNE LE STEREORADIOSCOPE DU DOCTEUR BARDON

Les premières recherches sur l'extraction des projectiles en campagne à l'aide du stéréoradioscope sont réalisées du 1^{er} au 12 juin 1940, dès la mise au point de l'appareil à l'Ambulance Chirurgicale d'Armée n° 233. Dans cette ambulance de spécialités, où s'exerce la chirurgie de la tête et du cou, l'appareil est monté en salle de chirurgie générale pour les polyblessés présentant des lésions associées, éclats des membres en particulier.

Dans ce court délai, les docteurs Willemin et Lubin pratiquent 18 extractions d'éclats métalliques au niveau des membres, avant-bras et mains en particulier ; 3 corps étrangers sont extraits des masses musculaires profondes du mollet ; 2 de la cuisse ; 1 de la fesse ; 2 de la région scapulaire.

Les extractions ont été menées à bien dans un temps très court, de l'ordre de quelques secondes à une minute sous le rayonnement, à condition de suivre la technique rigoureuse proposée par ces auteurs :

1^{er} temps : Repérage et localisation du ou des projectiles par la radioscopie ordinaire.

2^e temps : Temps chirurgical. Voie d'accès. Extraction le cas échéant.

3^e temps : Si la découverte de l'éclat apparaît difficile, la stéréoradioscopie est mise en œuvre.

1° Repérage.

Nous n'insisterons pas sur les divers procédés de repérage et de localisation radioscopiques. Parmi les plus employés, citons la réglette de Haret, le procédé de Strohl et surtout l'angle de Patte. Cette dernière méthode est d'une application extrêmement simple avec le matériel de remorque type 1934 du Service de Santé, puisque la rotation de l'ampoule se fait automatiquement d'un angle de $26^{\circ}33'$ par butée fixe.

Il sera cependant beaucoup plus intéressant d'utiliser le stéréoradioscope lui-même pour temps de repérage préalable. On évitera ainsi la nécessité d'avoir un deuxième appareil à sa disposition.

La méthode de choix avec le stéréoradioscope semble être la méthode des arcs capables de Violette, cette méthode de repérage à petit diaphragme a le grand avantage de ne pas exiger un écran fixe durant la localisation. Dans le récent travail de Violette, on trouvera de plus amples renseignements sur cette technique nouvelle. Pratiquement, il suffira d'adjoindre un petit écran auxiliaire mobile à l'appareil de Bardon pour avoir la possibilité de pratiquer le temps de repérage.

Ce temps radioscopique très court doit permettre de marquer à la peau la sortie du rayon central et normal passant par le projectile, tandis qu'est donnée la profondeur de l'éclat au-dessous de ce point.

2° Temps chirurgical.

Ceci fait, le chirurgien choisit sa voie d'accès. L'incision partira du point de repère lui-même ou

de tout autre point relevé, par exemple au compas si simple du docteur Didière. Temps chirurgical uniquement, menant jusqu'à l'extraction si le repérage est bien fait et si le projectile ne se déplace pas pendant l'intervention (masses musculaires rétractées, réclinées...).

En cas d'échec, il était habituel de poursuivre l'extraction sous écran et l'on sait combien ce nouveau temps peut se prolonger parfois. L'habileté du chirurgien n'est pas en cause ; qu'il suffise de rappeler les difficultés qu'entraîne si souvent l'extraction d'un simple fragment d'aiguille dans la masse thénar.

Outre le danger qu'offrent pour le chirurgien des irradiations longues et répétées, il en résulte un débit chirurgical affaibli.

Aussi, dès les premières difficultés chirurgicales, la radioscopie plane doit-elle faire face à la stéréoradioscopie.

3° Temps stéréoradioscopique.

Ce temps de radioscopie en relief intervient donc tandis que le chirurgien maintient dans la plaie une pince de Kocher très voisine de la position réelle du projectile.

L'appareil de Bardon, jusque-là en bout de table, est amené au-dessus du champ opératoire, la bonnette étant recouverte d'un champ stérile serré en cordon de bourse au-dessous du viseur.

Le radiologiste soumis à une bonne adaptation préalable, et se plaçant du côté du col de cygne de

façon à laisser au chirurgien un accès au champ opératoire largement dégagé, donne les rayons et indique l'écart séparant l'extrémité de la pince de Kocher de l'éclat. En quelques secondes le projectile est extrait.

C'est cette technique de collaboration radio-chirurgicale qui conduit aux succès rapides.

La qualité du relief obtenu est excellente et c'est ce qui pourrait inciter à une intervention hâtive presque totalement menée de la part du chirurgien sous radioscopie en relief. Ce serait une erreur et d'ailleurs l'expérience l'a montré.

Mais l'utilisation directe de la radioscopie en relief par le chirurgien ne saurait être à proscrire. Le rythme accru des interventions en campagne dissocie bien souvent l'équipe radio-chirurgicale. Le docteur Lubin a fait lui-même plusieurs extractions, en procédant au temps chirurgical sous lumière moins vive en vue d'une accommodation plus rapide. Au reste, il est reconnu que l'adaptation se fait plus vite en bonnette qu'en salle libre.

On pourrait d'ailleurs reprendre cette question de l'éclairage du champ opératoire venant du dessous de l'écran, par tubes à gaz raréfiés dont l'émission est correctement filtrée (d'Halluin).

Notons qu'en chirurgie de guerre, le relief anatomique lui-même passe au second plan. Ce qu'on cherche, c'est l'écart entre l'extrémité d'une pince et le corps étranger qui apparaissent très fortement contrastés sur l'écran.

Il n'est pas exclu de penser à d'autres applications du stéréoradioscope en chirurgie de guerre. A côté de l'extraction des projectiles, la réduction des fractures doit trouver une place très enviable. Des essais de ce genre n'ont pu être pratiqués aux Armées.

Le relief osseux est très satisfaisant dans les conditions de fonctionnement du stéréoradioscope actuel. Nous étudierons d'ailleurs les quelques insuffisances de ce prototype qui apparaissent mieux lorsqu'on s'attache à l'étude de régions plus épaisses et plus complexes, thorax et abdomen en particulier. Nous en rechercherons les causes en détail.

DANGER POUR L'OPERATEUR. PROTECTION

La chirurgie sous écran en général est une technique qui n'a plus à faire sa preuve. Le chirurgien d'Armée ne se plaît guère à mesurer sa tâche, pas plus qu'il ne prête attention aux dangers du rayonnement.

Pourtant, soumis à des irradiations longues et surtout répétées, sans moyens de protection efficaces, il risque les accidents cutanés ou généraux les plus graves. C'est peut-être là l'élément essentiel qui, de l'avis des docteurs Bardon et Willemin — et dès mars 1939 — devait pousser à une réalisation rapide du stéréoradioscope.

Et cependant, avec cet appareil, le problème de la protection se pose-t-il différemment ?

En *radioscopie plane*, le danger pour les mains de l'opérateur résulte du faisceau transmis et surtout de l'énergie X diffusée réémise par le blessé. La

tension d'alimentation du tube est relativement peu élevée, il en résulte plus de composantes molles qui s'amortissent sur les premiers plans cutanés. De plus, l'intensité est souvent poussée au delà de 2 ou 3 milliampères.

Les gants de caoutchouc ne représentent qu'un filtre dérisoire ; par contre, la table radio-chirurgicale de Haret constitue un bon filtre d'aluminium pour le faisceau primaire, arrêtant les plus grandes longueurs d'ondes.

Mais une telle protection est très insuffisante au point de vue cutané comme au point de vue des organes hémopoiétiques d'ailleurs, puisque le rayonnement secondaire réémis est le principal danger.

En *stéréoradioscopie* le danger est doublé, puisque la cuve émet deux fois par période.

Ainsi, la seule arme que possède le chirurgien contre le rayonnement est la *rapidité*. La technique d'emploi du stéréoradioscope a été réglée avec minutie précisément pour n'exposer les opérateurs qu'un minimum de temps. Nous avons vu qu'après un bon repérage du radiologiste et une voie d'accès chirurgicale bien faite, le temps final d'extraction ne demandait que quelques secondes.

Quant au radiologiste faisant équipe avec le chirurgien, il peut se protéger beaucoup plus facilement (tablier et gants plombés, etc...).

L'AVENIR DE LA STEREORADIOSCOPIE

Nous venons d'étudier les résultats favorables de la technique stéréoradioscopique dans l'extraction des projectiles en campagne. Reconnaissons que le problème est ici assez simple, puisque pratiquement il se réduit à la recherche du relief entre deux corps de très forte densité. Au reste l'appareil du docteur Bardon était parfaitement adapté à cet emploi.

Mais la stéréoradioscopie doit étendre ses possibilités et permettre toutes les investigations courantes de la pratique civile. C'est du même coup rechercher les améliorations indispensables à apporter à l'appareillage (en dehors bien entendu de cette impression de relief qui, avons-nous dit, est excellente et dépourvue de tout battement).

Les premières indications doivent être : la réduction des fractures, le contrôle des vissages et synthèses en cours d'intervention.

Le tractus digestif, région gastro-duodénale en particulier, doit bénéficier aussi de cette méthode après opacification massive, ou mieux peut-être après simple imprégnation de la muqueuse.

De l'avis du docteur H. Bayle (de Paris), l'adaptation du stéréoradioscope doit être faite pour l'extraction des calculs sur reins extériorisés.

Pour le poumon enfin l'utilité de cette méthode n'est pas douteuse, dans le domainemédical comme

dans le domaine chirurgical. Définir le point de ponction d'une collection localisée, préciser le caractère d'éléments parenchymateux ou l'orientation de brides adhérentielles, serait d'un intérêt pratique considérable.

Mais les progrès de la technique n'en sont pas encore là. Etudions les causes de cette insuffisance de la stéréoradioscopie dans son état actuel et les voies qui paraissent devoir être suivies pour réaliser les améliorations nécessaires.

A. — Le procédé est radioscopique.

Et tout d'abord ne perdons pas de vue qu'il s'agit d'un procédé radioscopique. Ses limites ne sauraient donc être plus étendues que celles de la radioscopie elle-même. « Là où la radioscopie donne des images lisibles et vraies, la stéréoradioscopie donne instantanément et sans effort un effet plastique saisissant et une notion de profondeur extrêmement précieuse »... (Bardon).

B. — En stéréoradioscopie la sommation des images disparaît.

Mais un autre point est digne de remarque : la radioscopie comme la radiographie donne des images de sommation. Tous les détails en profondeur se trouvent rassemblés sur un seul et même plan. S'il est vrai que cette sommation est à la base des difficultés de l'interprétation radiologique, il est vrai aussi — tout paradoxal que cela puisse paraître — qu'elle la facilite dans une certaine mesure.

En effet, au niveau du poumon par exemple, de discrets éléments échelonnés en profondeur sur l'axe du rayonnement prendront une vigueur factice, alors que leur étalement pouvait les faire méconnaître.

De telles idées trouvent leur traduction évidente en tomographie où l'on perd en impression globale, pour disséquer les images existant en une couche mince.

La stéréoradioscopie dissocie elle aussi les images de sommation. D'où des impressions plus légères et un aspect particulier un peu cotonneux des parties molles épaisses.

Par contre le modelé stéréoradioscopique est excellent, supérieur à celui de la stéréoradiographie. Il ne faut voir là, semble-t-il, qu'une différence dans la force des contrastes.

C. — Valeur de la luminosité de l'image.

L'impression lumineuse est ici très comparable à celle de la radioscopie. La fluorescence de l'écran est excitée deux fois par période, mais chaque fois la perception n'est assurée que pour un seul œil. La rotation du barillet sélecteur est une cause d'ailleurs pratiquement négligeable de l'affaiblissement. C'est avant tout à l'épaisseur des tissus examinés que l'on doit une baisse rapide de luminosité. En sorte que la première condition de meilleure visibilité est l'augmentation de l'intensité traversant les tubes. Nous y reviendrons.

D. — Le flou discret de l'image.

L'aspect cotonneux, le flou léger de l'image est dû :

— à la suppression de la sommation ;

— à l'écran ;

— au rayonnement secondaire de diffusion.

— La première cause est inhérente à la condition même du relief.

— Pour la seconde, l'expérience montre qu'un écran plus lumineux (sulfure de zinc) donne des images dont le dessin est moins délié qu'avec des écrans au tungstate de calcium par exemple.

— Quant au flou de diffusion, il serait considérablement diminué par l'emploi d'une grille fixe anti-diffusante, ainsi que par l'adaptation d'un diaphragme combiné réglable.

Ainsi donc les conditions d'amélioration du stéréoradioscope de Bardon résident avant tout :

— Dans l'augmentation de l'intensité, l'augmentation de la tension et la faculté de faire varier l'une et l'autre séparément. Mais si le régime des tubes dépasse les limites permises par l'autosélection, il sera nécessaire d'envisager un dispositif de refroidissement, peut-être par circulation d'huile.

— Dans l'utilisation d'une grille anti-diffusante avec diaphragme combiné réglable.

— Dans une plus grande maniabilité du châssis. Celui-ci avait été conçu uniquement dans un but d'extraction de projectiles. Il doit être assoupli pour permettre les explorations en toutes positions. La

bascule jusqu'à l'horizontale est nécessaire en particulier pour l'extraction de calculs sur reins extériorisés, pour la ponction d'une collection thoracique...

Ces progrès purement mécaniques appelleront d'autres progrès de technique opératoire qui aideront à la restitution du relief dans les cas difficiles (gros enkystements thoraciques à ponctionner, etc...). Il pourra être utile dans ces cas par exemple de s'aider d'un repère artificiel très contrasté placé au contact de la paroi thoracique, etc...

CONCLUSIONS

L'idée de la radioscopie en relief suit de très près la découverte de Roentgen.

Les premiers chercheurs ont le grand mérite de créer des prototypes extrêmement ingénieux, tout à fait remarquables, eu égard à l'imperfection du matériel dont ils disposent.

D'autres essais sont tentés beaucoup plus tard, mais tous ces appareils ne peuvent gagner un emploi clinique du fait de l'insuffisance de la qualité du relief et du manque de luminosité.

En 1939, les progrès de la technique permettent au docteur Bardon de faire construire, sur ses indications, un stéréoradioscope comportant une cuve à deux ampoules en opposition (dérivée de la cuve Transfoléix Massiot) et un viseur synchrone (des Etablissements Saint-Chamond-Granat).

Ce dispositif, qui donne un relief saisissant et dépourvu de tout battement, est prévu dès avant la guerre pour un but bien défini : adaptation à la table radio-chirurgicale des formations sanitaires en vue de l'extraction ultra-rapide des projectiles des membres.

Le prototype est expérimenté avec succès pendant cette guerre par les docteurs Willemin et Lubin, qui décrivent une technique opératoire précise :

1° *Temps de repérage et de localisation* en radioscopie plane.

2° Temps chirurgical. Voie d'accès.

3° Temps très court de radioscopie en relief permettant de saisir l'éclat en quelques secondes.

Il n'est pas douteux que de tels résultats doivent trouver leur application en pratique médico-chirurgicale courante. Mais étendre d'emblée ses indications, quitter le plan de la chirurgie de guerre pour lequel il était conçu, c'est mettre en lumière les quelques insuffisances du dispositif en son état actuel.

C'est en même temps montrer le chemin des améliorations techniques qui combleront ces insuffisances.

Vu :
Le Doyen
Jean LÉPINE

Vu :
Le Président de la Thèse,
PONTIUS,

Vu et permis d'imprimer :

Lyon, le 2 Décembre 1941.

Le Recteur. Président du Conseil de l'Université,

GAU.

BIBLIOGRAPHIE

1899

- RIVIÈRE. — La radioscopie stéréoscopique. *Mém. et Bull. de la Soc. de Chirurg. de Bordeaux*, 1899, 3, II, 99, p. 309-314.
- ROULLIÈS-LACROIX. — Dispositif nouveau de radioscopie stéréoscopique. *Arch. El. Méd.*, 1899, 15 avril, T. 7, pp. 137-140.

1900

- BOAS. — *Verhandl. Deutsch. Phys. Gesell.* 1900.
- GUILLOZ. — Dispositif pour l'examen fluoroscopique stéréoscopique. *Congrès de radiologie et d'électro-radiologie*, Paris, 1900.
- Sir J. MACKENZIE-DAVIDSON. — *American Patent*, 1900, n° 646.362.
- VILLARD. — Les courants alternatifs et la radiographie. *Archives El. Méd.*, 1900, T. 8, pp. 502-509.

1901

- REINIGER, GEBBERT et SCHALL. — Eine neue Umschaltvorrichtung für stéréoskopischen Durchleutung. *Fortschritte auf d. G. d. Roentgenstr.*, 1901-1902, T. 5, pp. 197-200.
- VILLARD. — Transformateur à haut voltage. *Journal de Physique*, 1901, pp. 28 à 32.
- La stéréoscopie par les courants alternatifs. *Arch. d'El. méd.*, 1901, T. 9, pp. 205-210.

1902

- GUILLOZ. — Des méthodes propres à réaliser la stéradioscopie. *Comptes rendus à l'Ac. des Sc.*, 1902, T. 134, pp. 756-758.

- De l'examen stéréoscopique en radiologie et des illusions dans l'appréciation du relief. *Comptes rendus à l'Ac. des Sc.*, 1902, T. 134, pp. 1303-1305.
- Procédés de stéréoscopie radioscopique. *Revue Méd. de l'Est*, 1902, T. 34, pp. 438-448.
- *Société Française de Physique*, 21 mars 1902.
- VILLARD. — *Société Française de Physique*, 21 mars 1902.

1903

- GUILLOZ. — Procédés de stéréoscopie radioscopique. *Ann. d'Electrobiol.*, 1903, T. 6, pp. 98-107.
- Procédé de radioscopie stéréoscopique. *Comptes rendus à l'Ac. des Sciences*, 1903, T. 136, pp. 661-664.
- *Journal de Physique*, 1903, pp. 255-258.
- *Société Française de Physique*, 6 mars 1903.

1904

- BOUCHARD. — Traité de radiologie médicale. Steinheil, édit.
- GUILLOZ. — Sur la stéréoscopie obtenue par les visions consécutives d'images monoculaires. *Comptes rendus à la Société de Biol.*, 1904, T. 56, p. 1053.
- De la radiographie stéréoscopique sans stéréoscope. *Comptes rendus à la Soc. de Biol.*, 1904, T. 57, pp. 662-664.
- *Société Médicale de Nancy*, du 23 novembre 1904.

1906

- GUILLOZ. — Rapport au Congrès de Radiologie de Milan.

1908

- ESTANAVE. — Ecran stéréoradioscope. *Arch. d'El. médicale*, 1908, T. 16, pp. 428-431.

- Société Française de Physique du 19 juin 1908.
GUILLOZ. — A propos de la radiographie stéréoscopique
par la Méthode des Réseaux. *Arch. d'El. médicale*,
1908, T. 16, p. 525.

1911

- PIRIE. — A stereoscope for use with fluorescent screen.
J. Roentgen soc. London, 1910-1911, T. 7, p. 108.

1913

- STEPANOW. — Stéréoroentgenoskopia. *Russk. Wrach. St.*
Petersbourg, 1913, T. 12, p. 91.
— *Fortschritte aud d. G. d. R.*, 1913, T. 20, p. 438.

1914

- WEIL. — La radiostéréoscopie en chirurgie de guerre.
Paris Méd., 1913-1914, T. 15, p. 354.
CARRIGON. — Manière simple d'obtenir la notion du re-
lief en radioscopie. *Comptes rendus à l'Ac. des*
Sc., T. 159, pp. 657-659, 1914.

1915

- CARRIGON. — Manière simple d'obtenir la notion du re-
lief en radioscopie. *Arch. d'El. Méd.*, 1915, T. 25,
p. 163.
CIBON. — Stéréoradioscopie. Procédés nouveaux. *Comptes*
rendus à l'Ac. des Sc., T. 161, pp. 241-243.
SALOW. — Zur Roentgoenstéréoskopie. *Berliner Klin.*
Wochenschr., 1915, T. 52, p. 979.
SAMPSON. — A inexpensive multiple stereoscope and
fluoroscope. *American J. Roentgn.*, 1914-1915,
T. 2, p. 697.
SNOOK et KELLEY. — *American Patent*, 1915, n° 1.123.942.

1916

- ALESSANDRINI. — Note di radiostéréoscopia. *Policlin.*
Roma, 1916, T. 23, pp. 645-647.

BORZELL. — A simple means of Rendering automatic the tube scift in vertical stereoscopy when using the Kelley. Koeth tube stand and vertical plate. *American J. Roentgn.*, 1915-1916, T. 3, p. 234.

1917

BOUASSE. — Vision et reproduction des formes et des couleurs. Delagrave, édit.

LIÈVRE. — La stéréoradioscopie. *Presse méd.*, 1917, T. 25, p. 404 ; *Comptes rendus à l'Ac. des Sc.*, 1917, T. 164, p. 833.

REGENER. — Ein einfacher. Apparat zur stéréoskopischen. Durchleuchtung. *Munch. méd. Wochenschr.*, 1917, T. 64, pp. 1181-1183.

TRABACCHI. — Alcune considerazioni intorno agli apparecchi. Radiostéréoscopici. *Policlin. Roma*, 1917, 7, 24, pp. 586-588 ; *Radiol. Méd.*, 1917, T. 4, pp. 79-81.

1918

DRUNER. — Über die Messung der Untertischaufnahme und Untertischdurchleuchtung. und die Roentgenoskopische Opération im stéréoskopischen Schirmbild. *Deutsch. méd. Wochenschr.*, 1918, T. 44, p. 298.

CALDWELL. — The stereoscope in roentgenography. *American J. Roentg.*, 1918, T. 5, p. 554.

MIDDLEDITCH. — A Description of the Caldwell Stereofluoroscope. *American J. Roentg.* 1918, T. 5, pp. 547-553.

OZIL. — Remarques sur la notion de distance et la sensation de relief en stéréoscopie radiographique. *Marseille méd.*, 1918, T. 55, pp. 545-552.

STROTHER. — Roentgen stereoscopy applied to the examination of the extremities. *American J. Roentgen*, 1918, T. 4, p. 576.

- TOUSSAINT. — La perception du relief inverse en stéréoscopie radiographique. *J. d'El. et de Radiol.*, 1918, T. 3, pp. 72-74.

1919

- MORIG. — Uber roentgen stéréoskopie. *Med. cor. Blatt d. Wurtemb. artzt. Landesw.*, 1919, T. 89, pp. 225-227.
- ULRICHS. — Bewahrtes Verfahren zur. Roentgenstéréoskopie. *Fortschritte auf d. G. d. Roentgstr.*, 1919, T. 26, pp. 439-444.

1920

- HECK. — A stereofluoroscope. *American J. de Roentg.*, 1920, T. 7, pp. 448-451.
- HODGES. — A stereoscopic tube stand particularly adapted for the examination of the skull. *American J. de Roengt.*, 1920, T. 7, pp. 564-566.
- SALEIL. — Utilisation de deux tubes Coolidge à radiateur branchés en sens inverse. *J. Radiologie et d'Electrologie*, 1920, T. 4, pp. 229-231.

1921

- TYNDAL. — A new form of stereofluoroscope. *J. Roentgen Society London*, 1921, T. 17, pp. 122-125.
- VAN EBBENHORST TENGBERGEN. — Nouvel appareil de stéréoradioscopie. *Nederl Eijdschrift voor Geneeskunde*, janvier 1921.
- Stereoscopical roentgenoscopy, a new, apparatus for its application. *Arch. radiol. et électrol. London*, 1921-1922, T. 26, pp. 42-47.

1922

- DONALDSON et MERRILL. — The Van Zwaluwenburg type of stereoscope. *American J. roentg.*, T. 9, 1922, p. 742-744.

MORGAN. — Stereofluoroscopy. *American J. roentg.*, 1922, T. 9, pp. 180-183.

1923

KEGERREIS. — Röntgen-Ray Stereoscopia. *Arch. radiol. et d'electro. London*, 1923-1924, T. 28, pp. 105-108.

LAMBERT. — Sur la stéréoradioscopie. *Comptes rendus à l'Ac. des Sc.*, 14 mai 1923, T. 176, p. 1384.

STUMPF. — Stéréo Durchleuchtung. *Fortschritte auf d. G. d. r.*, 1923, T. 31, *Kongresshöft*, pp. 92-94.

1924

DIOCLES. — Premières applications de l'hyper-stéréoscopie. *Arch. et Méd. Pharm. Militaire*, 1924, T. 81, pp. 187-220.

STUMPF. — Die stéréo Durchleuchtung. Munich, 1924.

1925

BELOT et NADAL. — Stéréoscopie et hyperstéréoscopie. *J. d'Electro et Radiol.*, 1925, T. 9, pp. 459-462.

MOORE. — Multiple stereoscopia. *American J. Roentgen*, 1925, T. 14, p. 463.

TALON. — Les applications de la stéréoscopie à la radiologie. *Thèse de Paris*, 1925, n° 18.

1927

GARTENMEISTER. — Stéréoskopische Roentgendurchleuchtungapparatus. *Fortschr. auf d. G. d. r.*, janvier 1927, T. 35, pp. 680-683.

GEBBERT. — Eine einfache Vorrichtung für stéréoskopischen Durchleuchtungen. *Fortschr. auf d. G. d. r.*, 1927, T. 56, pp. 113-115.

MANNL. — Bewegungsstereoskopie bei der Roentgendurchleuchtung. *Fortschr. auf d. G. d. r.*, janvier 1927, T. 35, p. 779.

1928

HUMPHRIS. — Stereoscopy latest development in stereo-fluoroscopic Work. *Lancet*, mars 1928, T. 1, pp. 442-443.

1930

DIOCLES. — Téléradiographie et stéréoradiographie. Masson, édit.

1931

MAZÈRES. — Relief cinétique et radioscopie oscillante. *Arch. d'El. Méd.*, février 1931, T. 39, pp. 49-65.

1932

DU MOND. — Technic of stereofluoroscopy. *Radiology*, décembre 1932, T. 19, p. 366.

1933

SEGRE. — Die un nuovo dispositivo per la stéréoradioscopia e la stéréoradiographia. *Radiologia médica*, septembre 1933, T. 20, pp. 1206-1211.

1936

FERGUSON. — Roentgen stereoscopy. *American J. de roentgen*, mai 1936, T. 35, pp. 662-669.

1937

HASSELWANDER. — Das Raumbild. Berlin, 1936.

HIRSCH. — Aids to stereoscopy. *Radiology*, février 1936, T. 26, pp. 234-236.

WALTER. — Die Bedeutung der Pseudoskopie für die Roentgenstéréometrie. *Fortschritte auf d. G. d. r.*, juillet 1936, T. 54, pp. 82-87.

HASSELWANDER. — Roentgenstéréoskopie. *Fortschritte auf d. G. d. r.*, 1937, T. 55, pp. 6. à 12.

SEGRE. — Basi di costruzione e di Funzionamento dei dispositivi di stériscopio. fondati sul principio

dell' alternanza sincrona di Fonzionamento dei tubi e della visioni degli occhi. *Radiologia medica*, mai 1937, 24, 392-398.

1939

BARDON. — Stéréoscopie radioscopique. *Bull. Mém. de la Soc. El. Radiol. Méd. de France*, octobre et novembre 1939, T. 27, pp. 587-599.

1940

EICHLER. — Das Raumschirmbild. *Deutsche Med. Wochenschr.*, 9 août 1940, T. 66, pp. 882-884.

1941

VIOLETTE. — Deux méthodes personnelles simples et pratiques de localisation géométrique des projectiles. *Thèse de Lyon*, 1941.

Errata

P. 13 : « Perspectives conjuguées » à mettre au-dessus du 2^e paragraphe de la p. 14.

P. 18, l. 7 : de valeur H et non h.

Dans les équations, supprimer les 3.

P. 23, l. 30 : ajouter « l'une »... par rapport à l'autre.

P. 27, l. 14 : l'œil peuvent... supprimer « ne ».

P. 37, l. 1 : point et non plan.

P. 38 :

$$dy = \frac{D^2}{4x^2} dx \quad (2^{\text{e}} \text{ équation}).$$

$$1 - \frac{D^2}{4x^2} \quad (3^{\text{e}} \text{ et } 4^{\text{e}} \text{ équations}).$$

P. 39 :

$$dy = \frac{D^2}{4x^2} dx.$$

P. 42 : dans le tableau, lire :

x	O	→ D/2	→ + infini
y'	$E' - E \quad D$		$E' + E \quad D$
	$E' + E \quad 2$	D/2	$E' - E \quad 2$

P. 45 : $y' = 0$ (2^e équation).

P. 50 : « Lois physiologiques ». Repousser ce titre d'un paragraphe.

P. 52, l. 15 : « dans le plan d'horizon ».

P. 60, l. 21 : « deux tubes, deux bobines ».

P. 62, l. 22 : « une anticathode » et non « une autre cathode ».

- P. 66, l. 3 : à repousser d'une ligne et à remplacer par « 30 cm. et écartées de 7 à 8 cm., dans ce dispositif », etc...
- P. 69, l. 20 : « de chaque côté du plan de symétrie ».
- P. 70 l. 15 : « le noircissement ».
- P. 73 : l. 20 : « ajouter la position droite ».
- P. 79, l. 18 : « de stéréoradioscopie ».
- P. 86 : Intervertir le titre avec la 2^a l. du titre de la p. 92.
- P. 92 : La 2^e l. du titre va en titre à la p. 86.
- P. 93, l. 14 : « du repérage cutané » à la place de « des arcs capables de Violette ».
- P. 94, l. 18 : « place » au lieu de « face ».

